INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÓMICA DA CONVERSÃO PARA VEÍCULO ELÉTRICO

Nuno Miguel Alves Sampaio

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Eletrotécnica - Sistemas Elétricos de Energia

Orientador: Prof. Doutor António Andrade

Outubro 2012

Resumo

O veículo elétrico está cada vez mais presente no mercado de veículos de transporte e apresenta-se como uma solução sustentável para a mobilidade. Reduz as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), ruído, e elimina a dependência do petróleo presente nos veículos convencionais.

Numa altura em que o sector automóvel está em franca estagnação, e os preços dos combustíveis atingem máximos históricos, a conversão de veículos convencionais em veículos elétricos ganha especial relevo e apresenta-se como uma solução para alguns utilizadores ou mesmo uma oportunidade de negócio para algumas empresas.

Este trabalho consiste no estudo da viabilidade técnica e económica da conversão de veículos convencionais em veículos elétricos. São identificados equipamentos essenciais para realizar uma conversão, equipamentos alternativos e alguns opcionais, modo como os equipamentos devem ser instalados no veículo, cuidados a ter durante a instalação e legislação a considerar. No critério técnico aborda-se o desempenho do veículo, velocidade máxima, autonomia, capacidade de aceleração em subidas e desempenho de cada velocidade da caixa. No critério económico o estudo focaliza-se no tempo de retorno do investimento, ponto de inviabilidade do investimento, proveitos num prazo de 10 anos de uso do veículo, e análise do impacto de alguns equipamentos alternativos no investimento total.

Abordam-se todos os aspetos a ter em consideração para que se realize uma conversão com sucesso e em simultâneo realiza-se uma conversão tipo do veículo do qual sou proprietário, um Volkswagen Golf 2 de 1988.

Em sintonia com os objetivos deste trabalho, demonstra-se que o veículo elétrico é uma boa opção para utilizações citadinas, e que a tecnologia já esta suficientemente madura para este tipo de utilizações, o investimento na conversão é facilmente amortizável e portanto antecipa-se uma era onde prosperarão os veículos elétricos.

Palavras - chave

Veículo elétrico, veículo convencional, conversão, motor elétrico, bateria, sistema de controlo.

Abstract

Nowadays the Electric Vehicle is strongly present in the vehicles market and represents itself a sustainable solution for the mobility. It reduces the emission of greenhouse gases (GHG) and the noise, and eliminates the dependence of petroleum present in the conventional vehicles.

The automotive sector is in crisis. The fuel prices rich everyday new records and there is been few sales of new vehicles. With these characteristics the conversion of conventional vehicles gets especial attention, and it represents a solution for some users or even a business opportunity for some companies.

This paper is a study of the technical and economic feasibility of converting conventional vehicles in electric vehicles. It is identified essential equipments to make the converting, alternative and some optional equipments, the way they must be installed in the vehicle, heed during the installation and legislation that must be considered. In the technical criteria, it is considered the vehicle performance, maximum speed, the ability to accelerate uphill and the performance of the gear box. In the economic criteria the study is directed to the time that is needed to return the investment, the point of investment infeasibility, the profit in ten years from the use of the vehicle, and analysis of the impact of some alternative equipments on the final investment.

There are considered the features to do a successful conversion and, at the same time, there is done the conversion of my vehicle, a Volkswagen Golf 2, of 1988th.

According with the goals of this work, it is demonstrated that the electric vehicle is a good option to use in the city and that there already is enough technology to that kind of uses. The investment is easily redeemed and so it’s coming a era where electric vehicles will prosper.

Keywords

Electric Vehicle, *Internal Combustion Engine Vehicle*, *conversion*, *electric motor*, *battery*, *control system.*

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Prof. Doutor António Andrade por todo o apoio e disponibilidade ao longo de todo o trabalho e a todas as pessoas que tiveram disponíveis para me tirar as dúvidas que iam surgindo. Por fim, um muito obrigado aos meus pais que me suportaram e apoiaram ao longo de todo este caminho.

Índice

Lista de Figuras

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas e acrónimos

ACAP – Associação Automóvel de Portugal

BEV *– Battery Electric Vehicle*

BJT *– Bipolar Junction Transistor*

BMS *– Battery management system*

CEME – Comercializadores de Eletricidade para a Mobilidade Elétrica

CENELEC – Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica

CUTE *– Clean Urban Transport for Europe*

DOD *– Depth of discharge*

DSP *– Digital signal processor*

EOL *– End-Of-Life*

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

EV *– Electric Vehicle*

FCV *– Fuel Cell Vehicle*

GTO *– Gate-Turn-Off-Thyristor*

HEV *– Hybrid Electric Vehicle*

ICEV *– Internal Combustion Engine Vehicle*

IGBT *– Insulated Gate Bipolar Transistor*

IMTT – Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres

LED – Light Emitting Diode

MCD *– MOS-Controlled Thyristor*

MCI – Motor de Combustão Interna

ME – Motor Elétrico

MOSFET *- Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*

PEV *– Plug-in Electric Vehicle*

PHEV *– Plug-in Hybrid Electric Vehicle*

PWM *– Pulse with modulation*

SOC *– state of charge*

SOH *– state of health*

STCP – Sociedade de Transportes Coletivos do Porto

UNECE – *United Nations Economic Commission for Europe*

UPS *– Units of permanent service*

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O Contexto da presente dissertação insere-se num dos assuntos mais atuais da sociedade – Transportes rodoviários. Vivemos numa sociedade totalmente dependente de meios de transporte, tanto para deslocações como para consumo de produtos que fazem quilómetros até chegar às nossas mesas. O meio de transporte mais comum é o veículo com motor de combustão interna (MCI), que depende de combustíveis que provêm do petróleo, que é um recurso finito. É fundamental encontrar meios de transporte menos dependentes desta fonte de energia, como é o caso do *Electric Vehicle* (EV), *Fuel Cell Vehicle* (FCV) ou *Hybrid Electric* Vehicle (HEV) que se afirma como transição entre o *Internal Combustion Engine Vehicle* (ICEV) e o *EV*.

1.2. TÍTULO

Com esta dissertação "Estudo da viabilidade técnica e económica da conversão de veículos elétricos" pretende-se analisar todos os passos, para se realizar uma conversão com sucesso.

Os *ICEV* são completamente dependentes dos combustíveis fósseis, e estes têm preços bastante voláteis. As constantes subidas de preço, com o preço/litro a

subir quase semanalmente fortalece a necessidade de adoção de novas soluções de transporte, e a conversão de *ICEV* para *EV* ganha especial relevo.

1.3. OBJECTIVOS

Com este trabalho pretende-se compreender e caracterizar todos os passos para a conversão de um veículo convencional em veículo elétrico. Conhecer as possibilidades de equipamentos a utilizar, a sua distribuição no veículo e conseguir escolher os mais indicados para um determinado problema apoiado no critério técnico e económico.

1.4. MOTIVAÇÃO

Não há dúvidas de que o desenvolvimento dos veículos de transporte foi das maiores conquistas da tecnologia. Para além de contribuírem para a evolução e crescimento das sociedades, satisfazendo grandes necessidades do dia-a-dia das pessoas, a indústria automóvel tem um papel muito importante na economia mundial e emprega uma grande percentagem da população.

Como representado na Figura 1, os transportes são os maiores consumidores de petróleo. Em 1997 o consumo de petróleo pelos veículos era cerca de 49% do consumo mundial de petróleo, prevê-se que em 2020 esse consumo represente 57% do consumo mundial. [1]

Os padrões de consumo são bastante diferentes nos países desenvolvidos e nos países em vias de desenvolvimento. Através da análise da figura 1, percebe-se que há um menor consumo de petróleo nos países em vias de desenvolvimento e é de notar que a previsão para 2015 / 2020 é de que o consumo de petróleo por outros serviços que não os transportes, seja maior nos países em vias de desenvolvimento. Como há menos transportes nestes países o peso destes no consumo de petróleo é reduzido quando comparado com os países desenvolvidos.

O aumento do crescimento da população mundial com o respetivo aumento de veículos em circulação e o forte crescimento económico de países como o Brasil, Rússia, Índia e China, está a antecipar o esgotamento do petróleo.

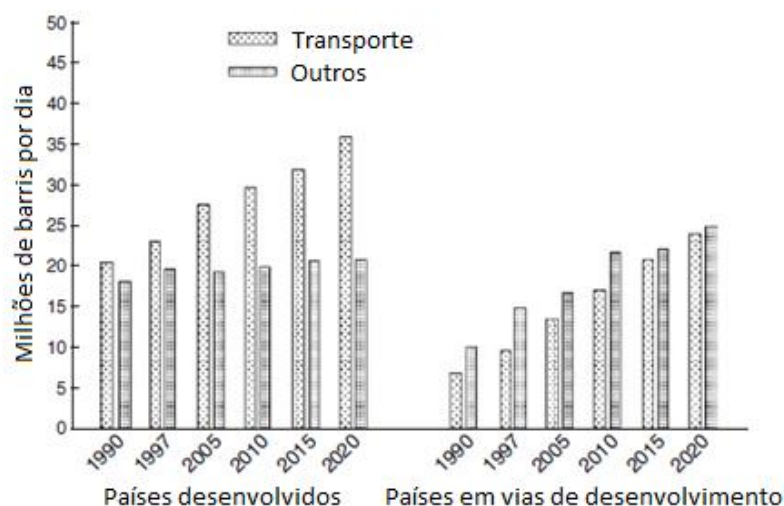



Figura 1 – Consumo de petróleo [1]

Contudo, o grande número de veículos a circular por todo o mundo, causou e continua a causar sérios problemas para o ambiente e para a vida humana. Poluição do ar, aquecimento global e o rápido esgotamento dos poços de petróleo, são problemas e motivos de preocupação. Para além disto, a maioria dos poços de petróleo estão situados no médio oriente, enquanto os maiores consumidores são a Europa, América do Norte e Ásia-Pacífico, como representado na Figura 1. Este facto provoca uma dependência dos países consumidores, e reflete-se na economia mundial, pois os países produtores acumulam grandes excedentes de dinheiro.

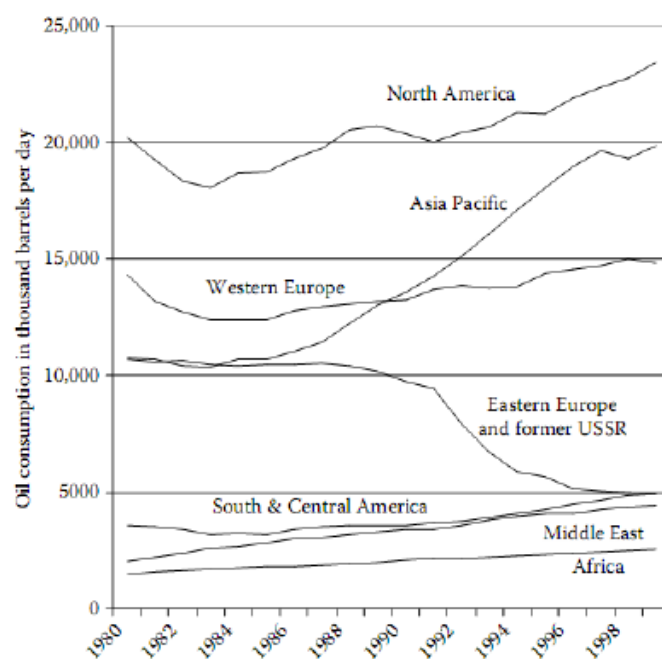



Figura 2 - Produtores/Consumidores de petróleo [1]

Sempre que ocorre uma crise petrolífera e os preços do petróleo atingem novos máximos, surge o interesse por diferentes tecnologias de propulsão que não sejam tão dependentes desta matéria-prima. Nas últimas décadas as atividades de investigação e desenvolvimento relacionadas com o transporte têm enfatizado a sustentabilidade, a alta eficiência e transporte seguro, renascendo o interesse pelos *EV*, *HEV* e *FCV*, com o objetivo que estes venham a substituir os automóveis convencionais num futuro próximo.

Na Figura 3 está representado a variação dos preços do petróleo e derivados ao longo dos últimos anos, e é visível o acentuado aumento do preço dos combustíveis. É fácil de perceber que o preço do barril de petróleo subiu bastante logo os combustíveis igualmente. De 2007 até á data, o preço da Gasolina IO95 aumentou 33%, enquanto o Gasóleo aumentou cerca de 27%. [2]

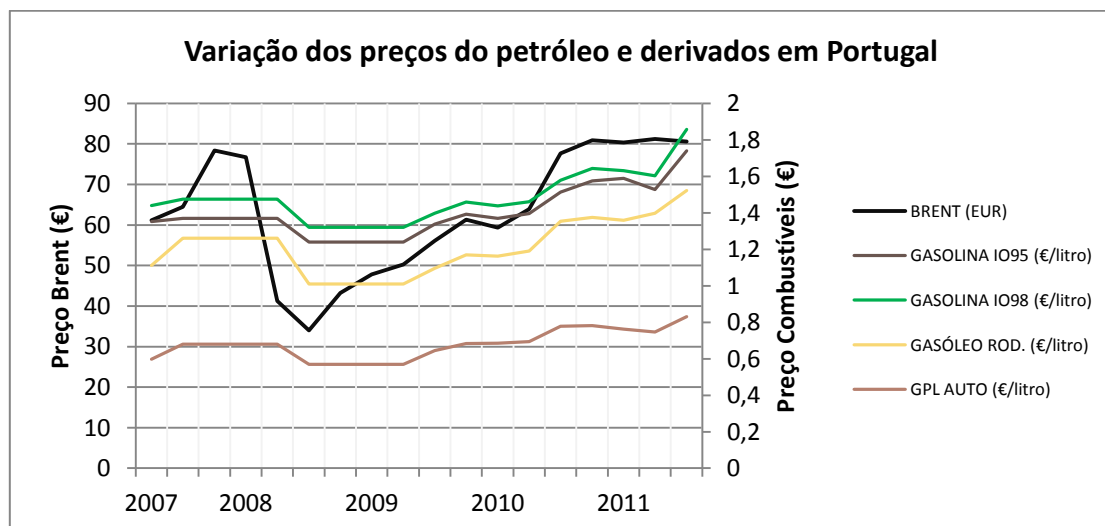



Figura 3 - Variação dos preços do petróleo e derivados em Portugal (dados disponibilizados pela Associação automóvel de Portugal (ACAP) [2])

A conversão de *ICEV's* em *EV's*, apresenta-se como uma solução de transição. Enquanto não são produzidos *EV's* com características que satisfaçam todas as necessidades dos utilizadores, nomeadamente preço, conforto, fiabilidade e segurança, a conversão dos veículos é uma opção. Os utilizadores não gastam mais um cêntimo em combustível e contribuem para um transporte mais eficiente e limpo.

Tabela 1 - Características dos veículos elétricos e convencionais [3]

	EV	*ICEV*
TIPO DE MOTOR	Motor Elétrico (ME)	MCI
FONTE DE ENERGIA	Baterias, super condensadores ou células de combustível	Gasolina ou Gasóleo
PESO	Médio	Baixo
TRANSMISSÃO	Pode prescindir de caixa de velocidades	Caixa de velocidade mecânica
SISTEMA DE FRENAGEM	Frenagem regenerativa	Frenagem dissipative
EFICIÊNCIA	Alto	Baixo
IMPACTO AMBIENTAL	Reduzidos	Elevados
CUSTO INICIAL	Alto	Médio
CUSTO DE MANUTENÇÃO	Baixo	Muito elevado

Da comparação realizada na tabela 1 é de ter em consideração algumas vantagens do EV face ao *ICEV*, como impacto ambiental reduzido e custo de manutenção também bastante reduzido contudo é de destacar a grande diferença entre a eficiência dos mesmos, fundamentalmente provocada pela diferença entre o rendimento do ME e do MCI. Estas características serão abordadas mais á frente no capítulo “Fundamentos aerodinâmicos e eficiência do veículo”.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é constituída por 5 capítulos e 3 anexos. Neste primeiro e presente capítulo 1 é realizada a introdução ao trabalho onde se refere a motivação do mesmo e os objetivos a atingir.

No capítulo 2 distinguem-se as diferentes categorias de veículos - elétricos, híbridos ou de combustão interna, analisam-se as suas características e configurações. No final deste capítulo aborda-se alguns fundamentos aerodinâmicos onde se descreve de forma geral o movimento do veículo e as forças resistentes a que o veículo está sujeito quando se movimenta.

No capítulo 3 faz-se uma análise do parque automóvel Português com principal incidência nos veículos elétricos.

No capítulo 4 aborda-se a legislação que é necessário ter em consideração para que a conversão seja realizada com sucesso. Referem-se alguns requisitos fundamentais a cumprir e passos para tomar para se realizar a homologação do veículo.

O capítulo 5 trata-se de uma memória descritiva e justificativa da conversão de um *VW Golf* 2, veículo do qual sou proprietário. A memória descritiva é composta por 3 partes. Na primeira parte descrevem-se os equipamentos a utilizar e caracteriza-se a sua instalação, na segunda parte são apresentadas algumas peças desenhadas com os equipamentos instalados no veículo, e na terceira parte é realizada a análise técnica (análise do desempenho do veículo) e económica (análise dos gastos do veículo elétrico face ao veículo convencional e tempo de amortização do investimento).

No capítulo 6 é feita a conclusão da dissertação e uma reflexão sobre os objetivos atingidos e espectativas de trabalhos futuros nesta área.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

2.1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos, uma sociedade cada vez mais preocupada com os problemas ambientais e a procura de políticas de desenvolvimento sustentável, levaram a que Portugal assumisse medidas e compromissos internacionais com o objetivo de redução das emissões de gases de efeito de estufa. Foram efetuados vários estudos com o objetivo de se perceber em que sector de atividade existe um maior consumo de energia, e como já referido anteriormente, concluiu-se que o sector dos transportes é responsável por uma grande parte dos gases emitidos para a atmosfera, como tal é importante atuar neste setor. [4,5]

Com o objetivo de posicionar Portugal como pioneiro no estudo e adoção de novos modelos para a mobilidade sustentável, capazes de explorar as características da rede elétrica maximizando os seus recursos, nomeadamente a energia proveniente de fontes renováveis, já em 2008 foi elaborado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º80/2008 de 20 de Maio, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética. Como complemento a este, em 2009 foi também aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2009, o Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal, que prevê uma forte adoção do veículo elétrico, com níveis de conforto e comodidade iguais aos disponibilizados pelos *ICEV*. Desde então tem sido crescente o investimento em infraestruturas que permitam a possibilidade de deslocamento do *EV* a todo o território nacional. [4,6]

Em Portugal está em execução um projeto-piloto de carregamento de veículos elétricos, a rede MOBI.E. Previa-se que até ao final de 2011 a rede fosse constituída por 1300 postos de carregamento normal e 50 postos de carregamento rápido espalhados por 25 municípios, contudo ao pesquisar por postos de carregamentos no *site* da MOBI.E apenas aparecem 189 postos disponíveis em território nacional. [7] Esta rede tenciona ser compatível com todas as marcas de veículos e ainda permitir que o utilizador planeie trajetos, consulte o seu histórico de carregamentos e com estes dados analisar a sua fatura de mobilidade e otimizar os seus consumos. Para utilizar esta rede é necessário subscrever um cartão MOBI.E, que ao inscrever-se no site da rede o cartão é enviado para a morada do requisitante.

Neste momento o utilizador não paga a eletricidade consumida, pois a Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) prolongou até ao final 2012 o acesso gratuito aos postos. Quando terminar esta fase-piloto e começar a fase comercial o utilizador terá que pagar a energia consumida para carregamento do *EV* aos Comercializadores de Eletricidade para a Mobilidade Elétrica (CEME). Como se trata de uma mercado livre, o utilizador pode escolher o comercializador que praticar os melhores preços, sendo que a fatura final vem acrescida de um custo de utilização da infraestrutura. [8]

De seguida analisam-se as diferentes categorias de veículos, que genericamente se inserem em 3 grupos distintos [9]:

- *EV*;
- *HEV*;
- *ICEV*.

Como é fácil de verificar nos subcapítulos que se seguem o que está na base da distinção das três categorias de veículos é o meio de propulsão utilizado.

2.2. *ELECTRIC VEHICLE* (EV)

O *EV* é um veículo que utiliza totalmente a propulsão por meio de motores elétricos que convertem a energia elétrica em energia mecânica. Geralmente distinguem-se três categorias: *Battery Electric Vehicle* (BEV); *FCV*; *EV* – Alimentação direta.

BATTERY ELECTRIC VEHICLE (BEV)

Os *BEV's*, tal como o nome indica, são dotados de baterias que têm como função armazenar a energia proveniente da rede elétrica ou de outra fonte de energia elétrica externa ao veículo. Esta energia é utilizada para alimentar o ME, durante a viagem, cuja função é transforma-la em energia mecânica. Na figura 4, está representada a estrutura básica e equipamentos essenciais de um *EV* a baterias do *Toyota iQ EV*, veículo que foi apresentado no *Geneva Motor Show 2011*.

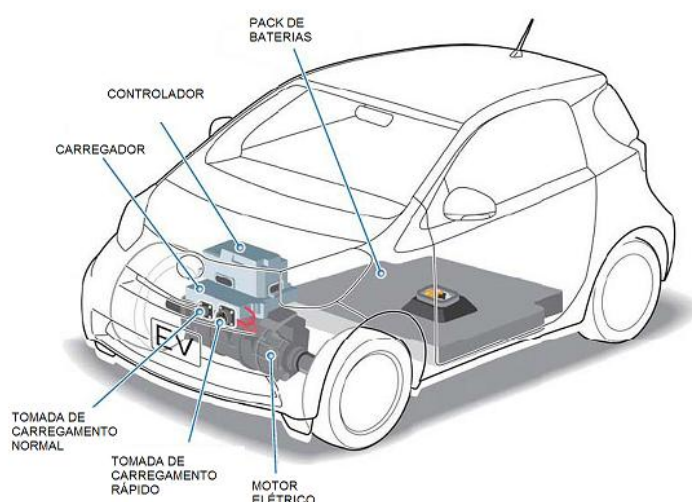



Figura 4 – *Toyota iQ EV* [10]

A maioria dos veículos elétricos neste momento, insere-se nesta categoria. São apresentados na tabela 2 alguns veículos que já se encontram no mercado de *EV*'s.

Tabela 2 - Veículos elétricos

VEÍCULO	MOTOR	BATERIA	PREÇO BASE
***NISSAN LEAF* [11]**	AC SÍNCRONO	IÕES DE LÍTIO	35.990 €
***PEUGEOT Ion* [12]**	AC SÍNCRONO DE ÍMANES PERMANENTENS	IÕES DE LÍTIO ÓXIDO DE MAGNÉSIO	30.387 €
***RENAULT FLUENCE Z.E.* [13]**	AC SÍNCRONO	IÕES DE LÍTIO	26.600 €
***OPEL AMPERA* [14]**	AC SÍNCRONO DE ÍMANES PERMANENTENS	IÕES DE LÍTIO	45.900€
***MITSUBISHI i-MIEV* [15]**	AC SÍNCRONO DE ÍMANES PERMANENTENS	IÕES DE LÍTIO	32.250€
***TESLA S* [16]**	AC DE INDUÇÃO DE ROTOR BOBINADO	IÕES DE LÍTIO	49.900$

FUEL CELL VEHICLE (FCV)

Os *FCV's* são veículos que recorrem a células de combustível para produzir a energia elétrica de que necessitam. A célula de combustível produz a eletricidade necessária par alimentar o motor de propulsão, através de uma reação química que combina o hidrogénio e o oxigénio.

Como representado na figura 5, o hidrogénio é fornecido à célula de combustível no elétrodo negativo, onde os eletrões do átomo de hidrogénio são libertados, num processo denominado de reação catalítica. Por sua vez os eletrões passam para o elétrodo positivo, originando a eletricidade. Os átomos de hidrogénio, perderam os seus eletrões e portanto tornam-se iões de hidrogénio, atravessam a membrana eletrolítica, juntam-se ao oxigénio e originam água.

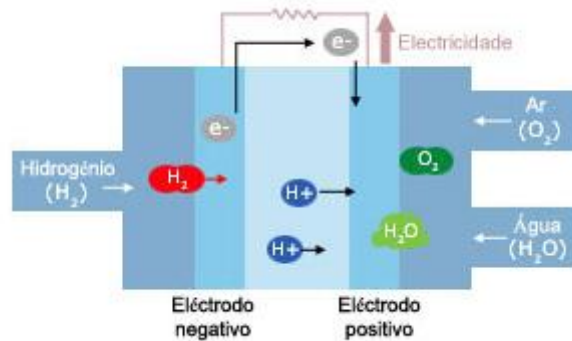



Figura 5 - Célula de Combustível [17]

É um processo bastante limpo e eficiente. Teoricamente a célula de combustível consegue converter 83% da energia do hidrogénio em energia elétrica, além disto não produz gases nocivos para o ambiente, uma vez que emite apenas água.

Os problemas desta tecnologia, tem sido principalmente a nível de produção e armazenamento do hidrogénio. O hidrogénio não se encontra isolado na natureza, mas sim combinado com outros elementos como o oxigénio ou o carbono, portanto são necessárias unidades de tratamento de combustível para extrair o hidrogénio dos outros elementos e este processo não deve ter como fonte primária combustíveis fósseis para não haver emissões de gases de efeito de estufa; no armazenamento do hidrogénio abordo do veículo, uma vez que são necessárias altas pressões (250 – 300 bar), e na distribuição do hidrogénio uma vez que em Portugal não há uma infraestrutura de abastecimento.

Na figura 6 está representado a estrutura de um veículo a célula de combustível. A verde os recipientes para armazenamento do hidrogénio, na traseira do veículo e na sua frente o pack de baterias para armazenamento da energia elétrica.

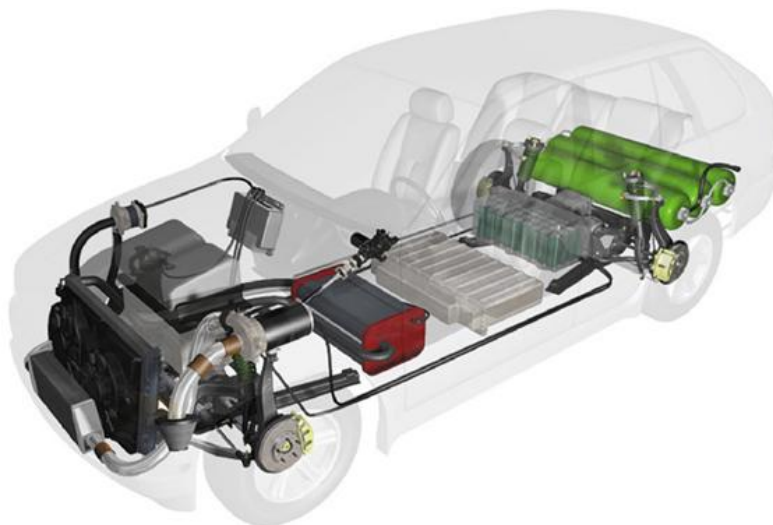



Figura 6 - Veículo a célula de combustível [18]

Em 2004 decorreu o Projecto *Clean Urban Transport for Europe* (CUTE). Foram escolhidas 10 cidades europeias nas quais circularam 3 autocarros movidos a hidrogénio durante 2 anos. A cidade do Porto foi uma das escolhidas e os autocarros foram da sociedade de transportes coletivos do porto, SA (STCP).

Os responsáveis pelo projeto no Porto, concluíram que a integração dos autocarros foi total, não se detetaram restrições à operacionalidade dos autocarros, nomeadamente na autonomia. O projeto CUTE concluiu que é viável a utilização do hidrogénio nos sistemas de transporte, demostrando que é operacional e tecnologicamente dominável.

O problema reside na infraestrutura de abastecimento, que para o projeto de pequena escala funcionou, mas é inviável para aplicar a uma rede de postos de abastecimento público. [19]

A nível comercial a *Honda* está a investir nesta tecnologia e tem alguns protótipos no continente asiático e América do Norte, como por exemplo o *FCX Clarity*. A *mercedes-Benz* anuncia que em 2014 terá a classe *Fuel Cell* no mercado, com veículos com autonomia de 400km. [20,21]

EV – ALIMENTAÇÃO DIRETA

Os *EV's* de alimentação direta são caracterizados pela ligação direta ao ME uma vez que não têm capacidade de acumular energia. Aplicam-se em troleicarros, nos elétricos, nos metros e nos comboios. Apresentam como maiores vantagens emissões diretas nulas, caso equipados com travagem regenerativa fornecem energia à rede (exemplo do Metro do Porto, representado na figura 7), alta eficiência e reduzida manutenção. Tem como principal desvantagem o facto de só se poderem movimentar onde existam linhas áreas de abastecimento.

Figura 7 - Metro do Porto [22]

O *EV* pode ser dividido em três sistemas fundamentais:

- Motor elétrico;
- Sistema de controlo;
- Fonte de energia.

2.2.1. MOTOR ELÉTRICO (ME)

O ME é o equipamento destinado a transformar a energia elétrica em energia mecânica e a sua montagem nos veículos pode realizar-se em várias disposições: na dianteira, na traseira, ou ainda montados diretamente nas rodas. Para além desta função possuí também a capacidade de funcionar como gerador em circunstâncias referidas posteriormente.

Idealmente o desempenho de um motor para tração disponibilizaria potência constante em toda a gama de velocidades, e consequentemente o binário variaria hiperbolicamente como representado na Figura 8. Contudo não existe o ME ideal, existem diferentes tipos de motores para atender às necessidades pessoais de cada utilizador, que geralmente se baseiam na melhor relação desempenho /preço. [1]

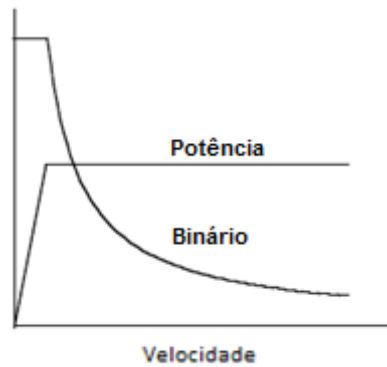



Figura 8 - Característica ideal de um motor [1]

Os motores de combustão interna, têm uma característica de binário bastante diferente da característica ideal para motores de tração (Figura 9).

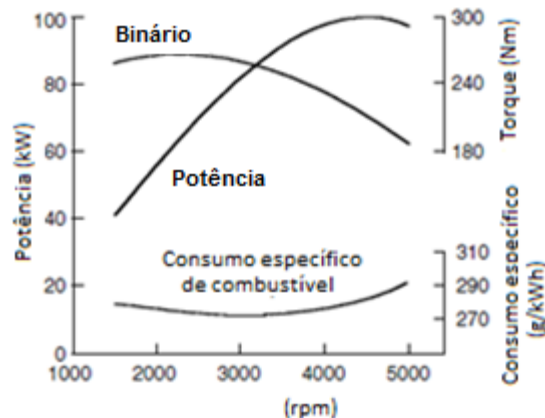



Figura 9 - Característica de um MCI [1]

Como a característica de binário do motor de combustão está longe de ser a ideal para motores de tração, é necessária uma transmissão de várias velocidades para aproximar estes motores do comportamento ideal como representado na Figura 10.

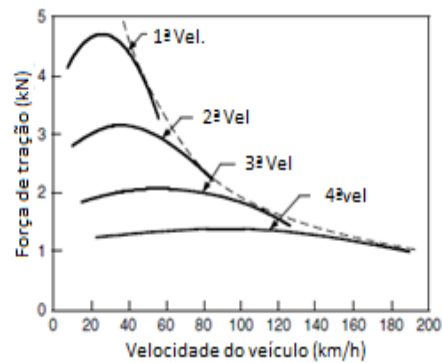



Figura 10 - Característica de um MCI com transmissão de várias velocidades [1]

Ao contrário do motor de combustão, a característica do ME é bastante próxima do ideal (Figura 11), e como tal não precisa de uma transmissão de múltiplas velocidades, é suficiente uma única velocidade. Começa na velocidade igual a zero, e aumenta até á velocidade base, cerca das 1500rpm, neste processo a tensão aumenta até ao seu valor nominal e o fluxo mantem-se constante. A partir das 1500rpm a tensão permanece constante e o fluxo é reduzido. Isto resulta numa potência de saída constante e num binário que decresce hiperbolicamente com a velocidade.

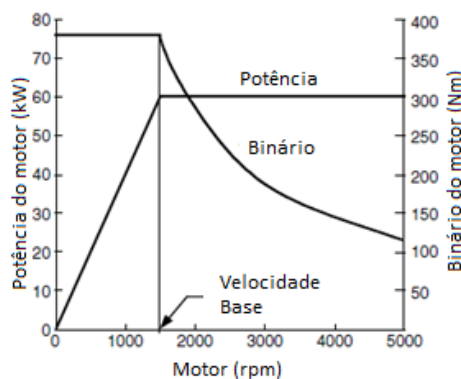



Figura 11 - Característica do ME [1]

Os motores usados nos *EV*'s não devem ser comparados com os usados nos processos industriais, pois os requisitos e as condições de funcionamento são diferentes. Enquanto os motores industriais estão numa superfície fixa e, geralmente, funcionam a velocidades constantes, o motor para aplicação no *EV* está sujeito a frequentes paragens, arranques e a maiores impactos e esforços mecânicos. [23]

Independentemente da categoria do *EV*, o motor é uma dos equipamentos principais do veículo, em conjunto com as baterias e o controlador.

A aplicação de motores elétricos para propulsão, impõem que estes apresentem características muito particulares, como baixos custos, elevadas

densidades de potência e binário, altos rendimentos em diferentes regimes de carga, e é fundamental disponibilizar elevadas potências instantâneas com elevados rendimentos em todos os modos de funcionamento.

Na figura 12, estão representados os diferentes tipos de motores elétricos.

Motores Elétricos

- Motores *AC*
  - **motor de indução**
  - **Motor síncrono**
- Motores *DC*
  - **Motor shunt**
  - **Motor de excitação separada**
  - **Motor de excitação série**
  - **Motor "Compound"**
  - Motor DC de ímanes permanentes
- Outros motores
  - **Motor de Relutância**
  - **Motor Brushless**
  - Motor de passo
  - Motor de histerese
  - Motor Universal

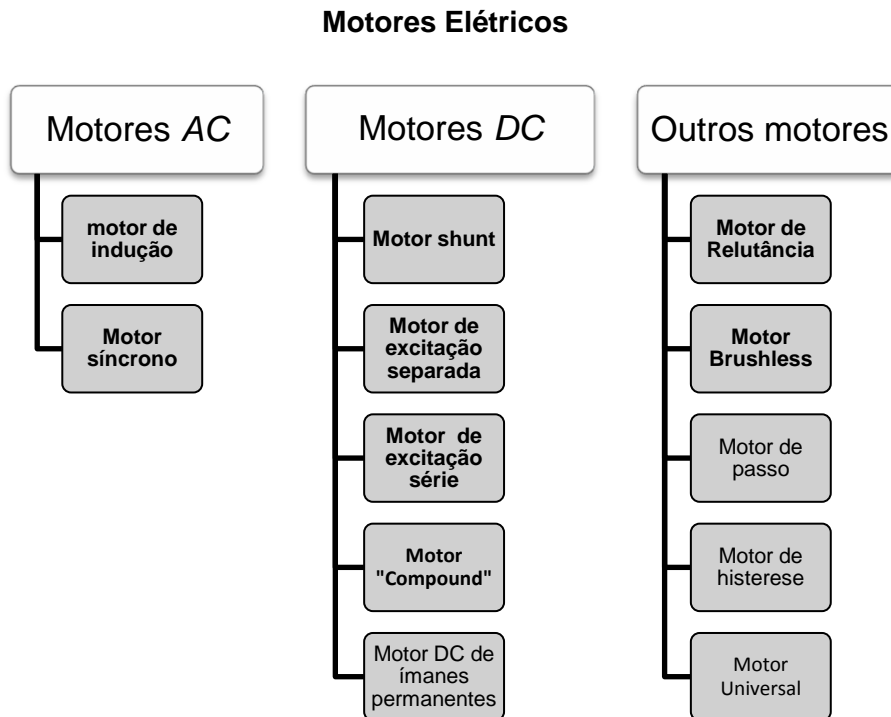



Figura 12 - Tipos de motores elétricos (Dados disponibilizados por [24])

Atualmente os motores que têm melhores características para aplicações em veículos elétricos são [25,26]:

- Motor de Corrente Contínua (*DC*)
  - Motor *DC* com escovas
  - Motor *DC* de ímanes permanentes
  - Motor "*Brushless*" *DC*
- Motor de Corrente Alternada (*AC*)
  - Motor Síncrono de Ímanes permanentes;
  - Motor de Indução Trifásico;
  - Motor de Relutância Comutada.

2.2.1.1. MOTORES *DC*

MOTOR *DC* COM ESCOVAS / ÍMANES PERMANENTES

Os motores *DC* são constituídos por duas estruturas eletromagnéticas, uma estática e uma móvel:

- Estator (Enrolamento de campo ou ímanes permanentes);
- Rotor (Enrolamento de armadura).

O estator é a parte estática e é formado por uma estrutura ferromagnética com pólos salientes, nos quais são enroladas bobines que formam o campo magnético, ou por ímanes permanentes.

O rotor é a parte móvel e consiste um núcleo de ferro com enrolamentos à superfície, alimentados por um sistema mecânico de comutação, denominado de sistema coletor/escovas. O coletor é uma superfície cilíndrica com diversas lâminas às quais são ligados os enrolamentos do rotor; as escovas fixas exercem pressão sobre o comutador e estão ligadas aos terminais de alimentação. A função do sistema coletor/escovas é inverter a corrente na altura apropriada por forma a garantir que o rotor continua a girar sempre na mesma direção.

O motor *DC* tem vários tipos de excitação possíveis:

- Série: motor de excitação série;
- Paralelo: motor "*shunt*";
- Série e paralela: motor "*compound*";
- Separado: motor de excitação separada.

Consoante o tipo de excitação utilizado as características de funcionamento do motor mudam. O motor de excitação série é vulgarmente utilizado para sistemas de tração elétrica, devido fundamentalmente ao facto de possuindo um sistema simples de alimentação (tensão constante), a sua característica de binário-velocidade adequar-se bem para aplicações de tração, o que era muito importante principalmente na época que não era possível controlar a tensão na armadura. Para inverter o sentido de rotação é necessário inverter as ligações ao campo ou à armadura, tal como no motor shunt, contudo este ultimo, é adequado para funcionar abaixo da rotação nominal e é vocacionado para aplicações de velocidade constante.

O motor "*compound*" possui dois enrolamentos de excitação, um em série e outro em paralelo, e esta característica permite-lhe uma ampla variedade de modos de

funcionamento e é vocacionado para aplicações onde variações na carga não tenham grande impacto na velocidade do motor.

O motor de excitação separada tem como principal vantagem a sua facilidade de controlo, devido principalmente o facto da sua velocidade em regime permanente ser causada pela tensão aplicada e por ser simples a colocação do motor a funcionar em modo regenerativo[1]. [24,27]

Historicamente estes motores têm sido usados nos *EV´s*, como é exemplo disso o Fiat Panda Electra com um motor *DC* de excitação série e o Mazda Bongo com um motor *DC* de excitação paralela. Estes motores têm como principais vantagens possuir um sistema de controlo de velocidade simples, fácil implementação, custo reduzido e apresentam uma característica de binário-velocidade vocacionada para as exigências dos sistemas de propulsão, contudo atualmente a sua aplicabilidade em veículos puros elétricos é reduzida, devido, por um lado ao sistema coletor/escovas, que reduz a fiabilidade, limita as velocidades praticadas e necessita de manutenções periódicas, por outro lado os avanços na eletrónica de potência permitiu a implementação de sistemas de controlo de velocidade baseados em semicondutores de potencia (díodos, transístores e tirístores abordados mais á frente no capítulo sobre o sistema de controlo) para motores *AC* e tornou estes motores preferíveis face aos *DC* com escovas. [23]

Em certas aplicações são usadas motores de corrente contínua de ímanes permanentes, representado na figura 13, com esta alteração elimina-se o enrolamento de campo e embora o rendimento do motor melhore e o diâmetro do estator diminua, existem limitações de preço e potência associados aos ímanes permanentes e continuam as limitações associados ao comutador mecânico.

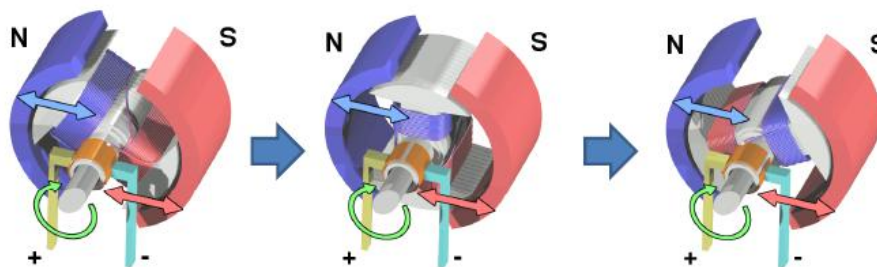



Figura 13 - Motor *DC* de ímanes permanentes [28]

[1] Durante a travagem o motor passa a funcionar como gerador, trocando o sentido do fluxo de energia mecânica para energia elétrica. O rotor passa a ser o indutor, e o estator o induzido; faz com que o sistema de carga receba energia.

Geralmente os motores *DC* são equipados com conversores de potência - "Choppers [2] " baseados em *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transístor*s (MOSFET), nos dois enrolamentos e assim permite que o motor funcione em modo normal e em modo regenerativo. [26]

MOTOR "*BRUSHLESS*" *DC*

O motor *brushless* é obtido através da troca do rotor com o estator do motor *DC* de ímanes permanentes, contudo a sua configuração é muito parecida com os motores síncronos de ímanes permanentes, abordados de seguida. O seu modo de funcionamento baseia-se no rotor, que inclui dois ou mais ímanes permanentes, gera um campo magnético *DC*, que interage com as correntes que fluem no interior dos enrolamentos do estator para produzir uma interação de binário entre o rotor e o estator. Com o rotor a girar, existe um inversor eletrónico que varia continuamente a magnitude e a polaridade das correntes do estator, para que o binário permaneça constante e a conversão de energia se faça de forma eficiente.

Em comparação com os motores *DC* comuns, este tem a vantagem de não precisar de escovas, logo são mais fiáveis e emitem menos ruido. Outros aspetos a destacar são que o motor *Brushless DC* tem maior capacidade para produzir binário que qualquer outro motor nos mesmos valores de corrente e tensão, apresenta elevadas densidades de potência (superiores à dos motores síncronos de ímanes permanentes) e altos rendimentos. A combinação de todas estas características faz com que este motor tenha bastante potencial para aplicações em sistemas de tração elétrica. O *Honda EV Plus*, *Nissan Altra* e *Toyota RAV4* são alguns exemplos de *EV* que possuem este motor. [23, 29]

Em comparação com os motores *DC* comuns o motor *brushless* é bastante mais caro, fundamentalmente devido à sua construção, que requer mais trabalho manual e devido ao sistema eletrónico de controlo de velocidade que é muito mais complexo e requer mais equipamentos como sensores, microcontrolador e *MOSFET's* de alta potência.

[2] O "*chopper*" é um conversor *DC/DC* que converte uma tensão *DC* fixa numa tensão *DC* variável e são muito utilizados para controlo de tração em *EV* (abordado no capítulo sistema de controlo).

2.2.1.2. MOTORES *AC*

MOTOR SÍNCRONO DE ÍMANES PERMANENTES

O motor síncrono convencional é constituído pelo rotor e pelo estator. No rotor está o enrolamento de campo que é percorrido por uma corrente contínua e tem como função criar o campo magnético, no estator o enrolamento de armadura onde é realizada a conversão eletromecânica da energia. A ligação entre o rotor e a alimentação é vulgarmente realizada pelo sistema coletor/escovas. Ao contrário do motor síncrono convencional o rotor do motor síncrono de ímanes permanentes é constituído, como o próprio nome indica, por ímanes permanentes o que permite melhorar alguns parâmetros do motor e torna-lo uma opção para aplicações de tração elétrica. Estes últimos têm maior densidade de potência devido à troca dos enrolamentos de cobre do rotor por ímanes permanentes o que permite reduzir o peso e o volume global do motor e aumentar a eficiência do mesmo; apresentam melhores rendimentos porque são eliminadas as perdas rotóricas; e apresentam maior fiabilidade e robustez devido principalmente, à ausência de anéis e escovas.

Os ímanes são instalados na estrutura rotórica em diferentes configurações, como representado na figura 14. Atualmente os mais utilizados são baseados em terras raras, em particular, ligas de neodímio, ferro e boro (Nd-Fe-B). [26]

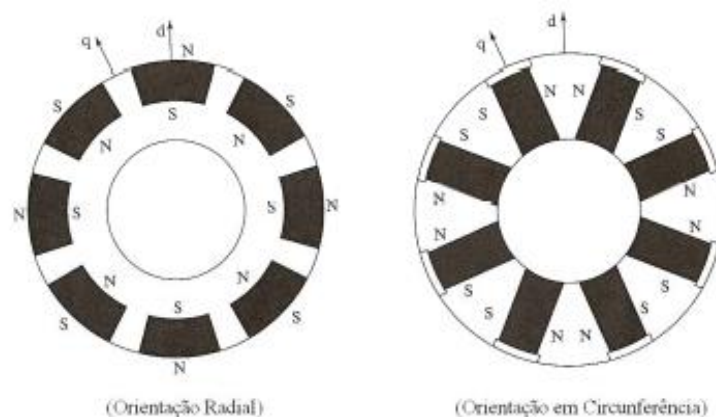



Figura 14 - Rotor de motor síncrono de ímanes permanentes [26]

O motor síncrono de ímanes permanentes compete diretamente com o motor de indução para aplicação em sistema de tração elétrica e em relação a robustez e fiabilidade estão ao nível do motor de indução, e apresentam ainda melhores rendimentos e maiores densidades de potência, contudo a sua complexidade de construção pode ser um problema em certas aplicações.

Para controlar a potência entregue á carga usam-se conversores de potência, usualmente têm por base *Insulated – gate bipolar transistor* (IGBTs) e a regulação da tensão é efetuada por *Pulse With Modulation* (PWM)[3]. [26]

MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

O princípio de funcionamento do motor de indução trifásico baseia-se na criação de um campo magnético rotativo. No estator aplica-se uma tensão alternada, que provoca o aparecimento de um campo magnético rotativo que interage com os condutores do rotor, induzindo uma força eletromotriz, que por sua vez cria o seu próprio campo magnético. A interação dos dois campos produz o movimento de rotação do rotor. Como a velocidade de rotação do rotor é ligeiramente inferior á velocidade de rotação do campo girante do estator, ou seja não estão em sincronismo, estes motores também são conhecidos por motores assíncronos.

Este motor tem o estator praticamente igual ao motor *Brushless DC*, ambos têm três conjuntos de enrolamentos "distribuídos" que são inseridos no interior do núcleo do estator, a diferença essencial entre as duas máquinas está no rotor, que tem duas configurações possíveis:

- Rotor em Curto – Circuito (também denominado de Gaiola de Esquilo)

  O rotor consiste em lâminas de aço empilhadas com condutores enterrados perifericamente que formam uma estrutura em curto-circuito. O aparecimento dos conversores eletrónicos potência veio permitir controlar a velocidade e o arranque deste, e pelo facto de este motor não necessitar do sistema coletor/escovas torna-o preferível face à configuração de rotor bobinado, motores *DC* e motor síncrono.

- Rotor Bobinado
  O enrolamento do rotor é muito parecido ao enrolamento do estator, e como referido, está configuração necessita do sistema coletor/escovas o que é uma fragilidade. O uso destes motores é pouco comum, são utilizados apenas em aplicações especializadas.

[3] Técnica vulgarmente utilizada para controlar a energia entregue a equipamentos elétricos inerciais. Consiste em controlar o valor médio da tensão entregue ao motor, no caso em análise, efetuando cortes na alimentação a elevada frequência.

Apesar destes motores não terem características naturais para aplicação em tração elétrica, os avanços nos sistemas de controlo baseados no controlo vetorial (controlo por orientação de campo) permitiu melhorar o desempenho destes e atualmente o motor de indução trifásico é dos mais fiáveis e tecnologicamente mais evoluído para aplicações em *EV’s*. Alguns exemplos disso mesmo são o *Fiat Seicento Elettra*, o *EV*1 da *General Motors* e o *Ford Think City*. [23,30]

Para que este motor seja competitivo com o motor *Brushless DC* para aplicações de tração elétrica em veículos necessita ser instalado com um inversor para que seja possível alimentar o motor a partir de uma fonte *DC* (Baterias) e poder-se também variar a velocidade ajustando a frequência do inversor. Outra questão está no facto deste motor ter um desempenho a nível de binário mais baixo que o motor *Brushless DC*, para reverter esta situação deve-se instalar sensores *feedback*, fazendo com que o inversor produza a frequência exata que o motor “deseja”.[29]

Os conversores eletrónicos de potência mais comuns baseiam-se em *IGBT’s*, e a regulação da tensão de alimentação é efetuada recorrendo à técnica *PWM*.

MOTOR DE RELUTÂNCIA COMUTADA

Recentemente, estes motores têm vindo a ser aceites como passíveis de serem utilizados na tração. Algumas vantagens são a sua construção bastante simples e robusta, um reduzidíssimo custo de produção e uma característica de binário-velocidade fenomenal, pois têm uma zona de funcionamento a velocidades bastante longa, o que permite que funcionem a velocidades muito elevadas com uma aceleração bastante rápida. As desvantagens prendem-se com sistemas de controlo bastante complexos com custos proibitivos, devido fundamentalmente á saturação magnética nas extremidades dos polos do estator, são motores que apresentam bastante ruido durante o funcionamento e não conseguem atingir os níveis de eficiência dos motores de ímanes permanentes.

Como já referido o sistema de controlo destes motores é bastante complexo, geralmente constituído por dois semicondutores por fase que podem ser *IGBT’s* e *MOSFET’s* , o que pode provocar o aumento do custo do conversor devido ao elevado número de semicondutores necessários. [26]

2.2.1.3. COMPARAÇÃO DOS DIFERENTES SISTEMAS

Os parâmetros de comparação dos motores descritos anteriormente são: Custo, eficiência, fiabilidade e desempenho.

CUSTO

Os motores *DC* com escovas são os mais vantajosos economicamente, seguidos dos motores de indução trifásico e por fim e portanto os mais caros são os motores *AC* de ímanes permanentes.

EFICIÊNCIA

Os motores de ímanes permanentes são os que apresentam maior eficiência, há autores que defendem ser o motor *AC* o mais eficiente, contudo a maioria diz que os motor *DC* de ímanes permanentes fica um pouco á frente neste capítulo.

FIABILIDADE

Neste parâmetro são os motores de relutância comutada que apresenta maior fiabilidade, superior a todos os outros em análise, contudo os motores de indução trifásicos são também muito fiáveis e por último estão os motores *DC*, como os menos fiáveis.

DESEMPENHO

Todos os motores analisados apresentam desempenhos bons para aplicar em *EV's*. É de destacar os motores de relutância comutada em critérios como tolerância a avarias e característica de binário – velocidade e os motores de indução trifásicos e *brushless DC* por serem muito maduros tecnologicamente e apresentarem excelentes características para aplicações em *EV's*.

Na tabela 3, é realizado o resumo da comparação entre os motores em análise, e segundo os critérios analisados o motor de indução parece levar vantagem sobre os restantes.

Tabela 3- Comparação entre motores

	CUSTO	EFICIÊNCIA	FIABILIDADE	DESEMPENHO
MOTOR *DC*	+	-	-	±
MOTOR *BRUSHLESS DC*	-	+	+	+
MOTOR SÍNCRONO DE ÍMANES PERMANENTS	-	+	+	±
MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO	±	+	+	+
MOTOR DE RELUTÂNCIA COMUTADA	-	±	+	+

Atualmente o motor síncrono de ímanes permanentes está presente nos modelos com maior exposição do mercado de veículos elétricos em Portugal (como representado na tabela 2). Os motores *DC brushless* dominam o mercado de híbridos e Plug-in híbridos, enquanto os motores de indução dominam os elétricos puros de alto desempenho. Na década de 90, a grande maioria dos *EV's* eram alimentador por motores *Brushless DC*, atualmente todos os híbridos são alimentados por motores *Brushless DC*, sem exepções. Os únicos a usar motores de indução tem sido a *General Motors* com o *EV-1* e a *AC Propulsion* com o *tzero* e o *Tesla Roadster* e *Tesla S*. [29]

Neste trabalho estamos a falar de uma aplicação muito específica, que apesar de ser para aplicar num veículo, trata-se da conversão de um veículo onde a vertente económica tem muita importância. As características mais importantes neste tipo de aplicação são custo reduzido, alto rendimento, bom desempenho e simplicidade de aplicação. Apesar da aplicação dos motores *DC* com escovas estar limitada para aplicações em *EV's*, quando se trata de uma aplicação de pequena potência onde o custo reduzido é um requisito importante, são uma hipótese a considerar.

2.2.2. SISTEMA DE CONTROLO

O sistema de controlo incorpora a capacidade de gerir o funcionamento do ME, da bateria e a da tração do veículo. Atualmente são usados conversores *DC*/AC (Inversores) para controlar os motores AC e conversores *DC*/*DC* (*choppers*) para o caso de motores *DC*, sendo ambos muito flexíveis e eficientes. Na travagem regenerativa invertem a lógica de funcionamento do motor, passando este a funcionar como gerador de energia. [26]

Os conversores são equipados com dispositivos semicondutores de potência (díodos, transístores e tirístores), que têm como função transformar a energia elétrica e permitir o controlo da velocidade do motor aplicado ao *EV*, consoante os requisitos do utilizador num determinado momento.

Os díodos têm como principal característica permitirem a passagem de corrente num sentido e impedirem no sentido oposto. São também conhecidos por dispositivos não controlados, pois não é possível controlar o seu estado (condução/corte). Têm diversas aplicabilidades, como retificação da corrente alternada do alternado do veículo para recarregar a bateria; Proteção (gerador em série com uma bateria em que o gerador fornece energia para as baterias, mas nunca o contrário, um díodo em série, entre o gerador e a bateria no sentido desta ultima resolve o problema); Regulação da tensão (Díodo de Zener); Emissão de luz (*Light Emitting Diode –LED*); sensor de luz (fotodíodos).

Na prática o tirístor funciona como um díodo controlado, que impede a passagem da corrente no sentido inverso e permite a passagem da corrente no sentido direto, desde que aplicado um sinal à sua porta. É um dispositivo semi-controlado, pois depois de entrar em funcionamento, permanece neste estado enquanto a corrente no ânodo se mantiver acima de patamar mínimo. Os mais utilizados em conversores são o *Gate-Turn-Off-Thyristor* (GTO) e o *MOS-Controlled Thyristor* (MCT).

O Transístor é um dispositivo totalmente controlado, que permite controlar o corte/condução de uma corrente de grande potência. Os mais utilizados em conversores eletrónicos são: *Bipolar Junction Transistor* (BJT)*; MOSFET* e *IGBT*.

Como exemplo de aplicação de um inversor existe o *EV*1 da *General Motors*. O inversor trifásico com 6 *IGBT's*, transforma a fonte *DC* a bordo (baterias) numa fonte *AC* com valores de tensão e frequência variáveis e controla assim o motor de indução trifásico a bordo.

O "*chopper*" é um conversor *DC/DC* e o seu funcionamento consiste em interromper periodicamente a corrente fornecida pela fonte *DC* (Baterias). Como exemplo de aplicação existe o *Toyota RAV4-EV* que tem a bordo um motor *DC* de ímanes permanentes. [31]

2.2.3. BATERIA

Uma bateria é um aparelho que converte energia química em energia elétrica, ou vice-versa. O termo bateria refere-se a um conjunto de células, que podem ser

ligadas em série ou paralelo, dependendo dos valores pretendidos de tensão ou corrente. Uma célula é constituída por 3 componentes:

- Ânodo – fornece eletrões ao circuito
- Cátodo – aceita os eletrões do circuito elétrico
- Eletrólito - é o meio de transferência de carga entre o ânodo e o cátodo.

Dos dispositivos de armazenamento atualmente disponíveis (baterias, *flywheel* ou supercondensadores), são as baterias que possuem maior capacidade de armazenamento de energia. Existem variadas tecnologias, onde a principal diferença reside no material usado no ânodo e no cátodo. Nos últimos anos, tem havido um forte investimento nesta área, na tentativa de encontrar melhores soluções no que diz respeito à segurança, reduzido tempo de carga, maior desempenho e longevidade. Na tabela 4, estão representadas algumas empresas e parcerias do atual ecossistema das baterias.

Tabela 4 - Parcerias no fabrico de baterias [32]

EMPRESA	FÁBRICA	PARCEIRO	FABRICANTE DE AUTOMÓVEIS
A123	China	*GE*	*Think*
AESC (NEC)	Japão	*Nissan*	*Nissan, Subaru*
BYD	China	-	*BYD*
GS – YUSA	Japão	*Mitsubishi Motor*	*Mitsubishi*
HITACHI	Japão	*Hitachi, Shinkobe*	*GM*
LG	Coreia	*Compact Power*	*GM*
PANASONIC EV	Japão	*Toyota*	*Toyota*
SAFT	França	*Johnson Control*	*GM, Ford, Daimler*
SAMSUNG	Coreia	*BOSH*	-
SANYO	Japão	*Continental*	*Honda, VW*
SK	Coreia	-	-

Como é fácil de constatar, o fabrico das baterias é dominado por empresas estabelecidas na Ásia. Estas empresas têm feito grandes investimentos em

investigação e desenvolvimento e estabelecem parcerias importantes que os deixam bem posicionados no mercado de baterias para veículos elétricos.

A escolha das baterias para os veículos elétricos tem em consideração os seguintes critérios [33]:

- Densidade de energia (baterias mais leves);
- Densidade de potência (capacidade de providenciar as acelerações);
- Capacidade de suportar regimes dinâmicos, aptidão para aceitar ou fornecer intensidade de correntes elevadas, provenientes da travagem regenerativa ou necessárias á aceleração;
- Elevada longevidade;
- Baixa necessidade de manutenção;
- Custo reduzido.

Dos requisitos mencionados anteriormente são de destacar o custo e o peso das baterias. Como vais ser possível de verificar no capítulo 5 – Projeto de Conversão, as baterias representam um peso considerável no veículo, que geralmente é proporcional à amperagem das mesmas. Como exemplo, o peso unitário de uma bateria da *Winston* da tecnologia Lítio – Ferro – Fosfato ($LiFePO_4$) com capacidade de 100Ah é de 3,4 kg, enquanto que uma bateria da mesma tecnologia com o dobro da capacidade, 200Ah, tem um peso de 7,7kg.

O peso de um pack de baterias pode representar entre 15 a 40% do peso do veículo e cerca de 40 a 55% do custo total da conversão (Anexo A – Equipamentos).

O peso do veículo é um dos fatores com maior impacto na autonomia do veículo, portanto é fundamental diminuir ao máximo o peso das mesmas e distribui-las no veículo da forma mais harmoniosa possível. Um exemplo da sua distribuição está na figura 14. Esta configuração é bastante utilizada atualmente, pois trás várias vantagens, nomeadamente, mantém o centro de gravidade do veículo baixo, não desloca o centro de massa do mesmo e não reduz espaço na mala do veículo.

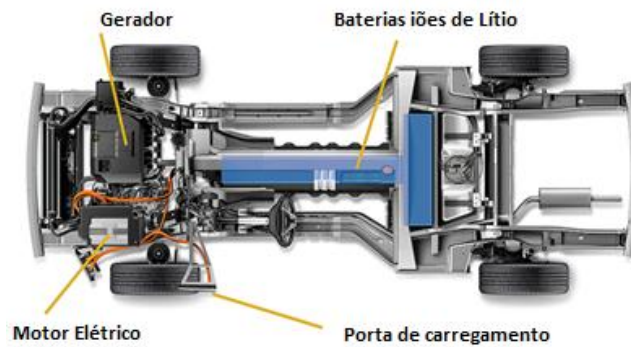



Figura 14 - Estrutura da bateria *Chevy-volt* e *Opel Ampera* [10]

Quanto ao outro fator (custo), pode-se dizer que atualmente o investimento necessário para adquirir um *EV* é maior que o necessário para outros soluções de transporte, principalmente devido ao elevado custo das baterias. Por exemplo, o custo do pack de baterias presente no *Nissan Leaf* está estimando em 16.212€, e o *pack* do *Opel Ampera* estimado em 11.348€. [34] Contudo, como representado na figura 15, prevê-se que o preço das baterias desça consideravelmente, cerca de 50% nos próximos 10 anos.

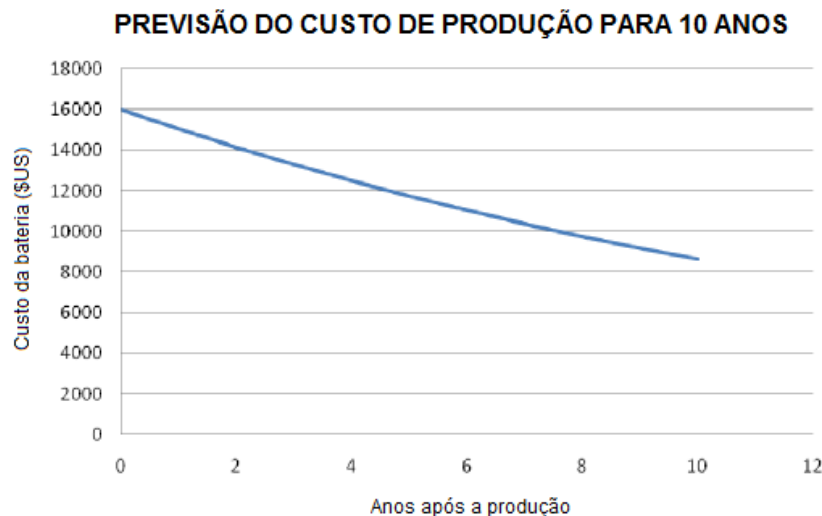



Figura 15 - Custo de produção [34]

O ciclo de vida de uma bateria pode ser definido com o número de ciclos que esta faz antes de atingir o estado de *End-of-Life* (EOL), que é quando a bateria não consegue cumprir os requisitos de potência e energia originais. As baterias são utilizadas em condições que diminuem irreversivelmente a sua vida útil. Alguns fatores importantes são: a taxa de carga/descarga; *Depth-of-Discharge* (DOD); *State-of-Charge* (SOC); a relação entre a taxa de carga e a taxa de descarga; e as condições de temperatura. [35,36]

A bateria quando atinge o fim da sua vida útil no *EV*, cerca de 80% da sua capacidade original, ainda é possível a sua utilização noutras aplicações, tendo por isso valor comercial. Existem vários estudos com possíveis aplicações como:

- Armazenamento da energia da rede [37,38];
- Reciclar os materiais valiosos [39];
- Aplicar em *Units of permanent service* (UPS) [40].

De seguida faz-se uma análise a diferentes tecnologias de baterias. Analisando algumas soluções que já estão no mercado há muitos anos como o caso das baterias de chumbo-ácido até a algumas que ainda estão em fase de estudos como é o caso das Ar-Lítio e Ar-Zinco.

2.2.3.1. BATERIA CHUMBO-ÁCIDO

As baterias de Chumbo-ácido são o tipo de baterias mais antigo ainda em uso, foram inventadas em 1859 e funcionam através da combinação do ácido sulfúrico com o chumbo. Estas baterias não têm aplicabilidade nos veículos puramente elétricos da atualidade dado o seu elevado peso e baixa densidade de energia, contudo como são as baterias mais baratas no mercado são vulgarmente utilizadas em conversões de veículos. [41]

2.2.3.2. BATERIA NÍQUEL – HIDRETOS METÁLICOS

As baterias Níquel – Hidreto Metálico (NIMH), é uma tecnologia recente mas com características muito similares às baterias de Níquel Cádmio, a diferença reside no facto de estas utilizarem o hidrogénio no elétrodo negativo. O hidrogénio é absorvido numa liga e é aplicado na forma de hidreto metálico. Estas baterias têm como principais vantagens a elevada densidade de energia e elevada capacidade. Estas baterias já foram aplicadas no *Toyota Prius* (1ª e 2ª geração), *Toyota Highlander*, *Lexus RX 400h*, *Ford Escape* e *Honda Insight*. [42]

2.2.3.3. BATERIA IÕES DE LÍTIO

Atualmente as baterias de iões de Lítio são a tecnologia mais promissora para aplicações em veículos elétricos. Apresentam altas densidades de energia, não possuem o efeito-memória, ou seja a capacidade de carga não diminui com os carregamentos, e para além disto são as que apresentam a melhor relação qualidade-preço.

O funcionamento de uma bateria de iões de lítio resume-se a uma reação química em que os iões circulam entre dois opostos da bateria, o ânodo e o cátodo. Enquanto a bateria está a fornecer os iões de lítio circulam do ânodo para o cátodo, invertendo o sentido quando a bateria está a carregar. Estas baterias são as utilizadas no *Nissa Leaf* de 2011. [42]

Existem muitas variantes das baterias de iões de Lítio. As alterações consistem no material que compõem o ânodo e o cátodo. Como mais promissora temos a variante Lítio-Ferro-Fosfato (fórmula química é $LiFePO_4$), em que o cátodo é constituído por $LiFePO_4$, têm como maiores vantagens a segurança e elevado ciclo de vida em temperaturas normais e como desvantagens tem uma baixa densidade de energia, tensão nominal de funcionamento reduzida e uma baixa capacidade. Estas baterias já são aplicadas nos *EV*'s da *Aptera*, *QUICC* e *BYC*. [43] Nas variantes com alterações no ânodo existem duas que se destacam, a variante Titanato ($Li_4Ti_5O_{12}$) e a de Lítio – Enxofre (Li-S).

As baterias Lítio - Titanato têm um tempo de carregamento muito inferior às baterias de iões de lítio convencionais, devido ao uso de nano cristais de titânio na superfície do ânodo, em vez do usual carbono. A desvantagem destas baterias é terem menor tensão e capacidade que as baterias de iões de lítio convencionais. Estas baterias foram aplicadas no *Mitsubishi i-Miev*, e a *Honda* também as vai aplicar no seu modelo *Fit EV* previsto para o verão deste ano.

As baterias de Lítio – Enxofre têm uma densidade de energia bastante elevada e são relativamente leves. Podem ser uma alternativa às baterias convencionais de iões de lítio devido principalmente à elevada densidade de energia, peso relativamente baixo, e custo reduzido do enxofre. A nível de aplicações em automóveis elétricos, não há informação de terem sido aplicadas em algum modelo, mas foram usadas no maior e mais alto voo realizado por um planador alimentado por energia solar, em Agosto de 2008. [44]

Recentemente investigadores da Universidade de *Northwestern* criaram um elétrodo para as baterias de iões de lítio que permite que estas carreguem muito mais rápido e aguentem com a carga 10 vezes maior que as utilizadas atualmente. Segundo os ensaios que os investigadores fizeram no final de 150 cargas, aproximadamente um ano de operação, estas baterias ainda tem uma capacidade 5 vezes superior às que agora se encontram no mercado. O que os investigadores fizeram foi introduzir moléculas de silício no ânodo e no cátodo o que aumenta drasticamente a capacidade da bateria e alteraram o formato das folhas de carbono-

grafite (material constituinte do ânodo e cátodo) para permitir um carregamento mais rápido.

Espera-se que esta tecnologia esteja pronta para ser comercializada num prazo de 3 a 5 anos. [45]

Recentemente algumas marcas têm investido em desenvolver as baterias Ar-Lítio, como o caso da *IBM* em parceria com a *Asahi Kasei* e a *Central Glass*. Estas baterias são bastante promissoras, devido principalmente à sua estupenda densidade energética, que se assemelha à gasolina, como representado na figura 16, contudo neste momento a sua maior limitação está nos ciclos de carregamento que aguenta, apenas cerca de 50. Prevê-se que possam estar no mercado entre 2020 e 2030.[46]

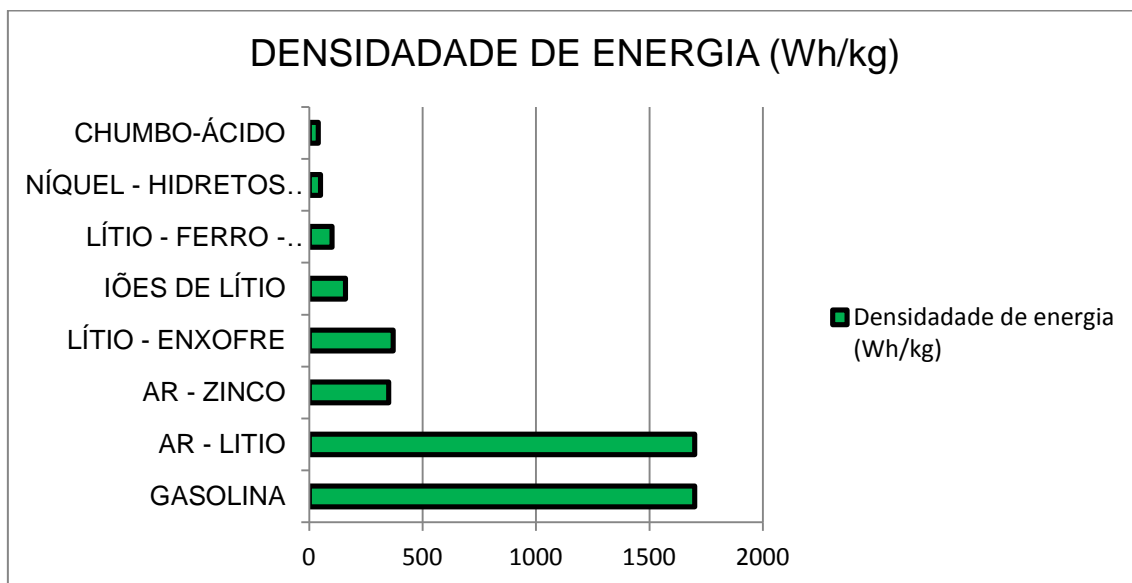



Figura 16 - Densidade de energia de diferentes baterias (Dados disponibilizados por [46])

2.2.3.4. BATERIA AR-ZINCO

As baterias de Ar-Zinco também estão em fase de estudos. Estas baterias apresentam densidade de energia elevadas, cerca de 350Wh/kg, como representado na figura 16. Uma das vantagens do uso do zinco como elemento principal é que este metal está cerca de 100 vezes mais disponível que o Lítio, o que é um aspeto interessante quando se pensa no veículo elétrico a uma escala global. Atualmente não há informação de qualquer aplicação destas baterias em *EV*. [47]

2.2.3.5. COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS

Ao contrário dos motores elétricos, onde é relativamente fácil fazer uma comparação entre as diferentes tecnologias, no caso das baterias é diferente. Comparar diferentes tecnologias de baterias é difícil por vários motivos: níveis completamente diferentes de maturidade tecnológica, onde algumas ainda se encontram em desenvolvimento; constantes alterações em pequenos aspetos construtivos das baterias que alteram drasticamente o seu desempenho; os parâmetros da mesma tecnologia de bateria variam, consoante o fabricante.

Na tabela 5, faz-se a comparação possível entre as tecnologias de baterias abordadas anteriormente.

Tabela 5 - Comparação de diferentes tecnologias de baterias (Recolha de dados de [48,49])

TECNOLOGIA	DENSIDADE		CICLO DE VIDA (80% DOD)	MATURIDADE TECNOLÓGICA	IMPACTO AMBIENTAL
	Energia (Wh/kg)	Potência (W/kg)			
CHUMBO-ÁCIDO	40	412	500	Madura	Baixo (com reciclagem)
NÍQUEL - HIDRETOS METÁLICOS	50	220	>600	Madura	Baixo
IÕES DE LÍTIO	160	~300	1200	Laboratório	Baixo
LÍTIO-FERRO-FOSFATO	100	>300	2000	Madura	Baixo
LÍTIO-ENXOFRE	370	-	-	Madura	Baixo
LÍTIO-TITANATO	57	340	>5000	Madura	Baixo
AR-ZINCO	350	100	-	Protótipo	Baixo
AR-LÍTIO	1700	-	~50	Laboratório	Baixo

Dos equipamentos mais importantes no *EV* (Bateria, Controlador e Motor) são as baterias que necessitam de maior desenvolvimento tecnológico e a maior aceitação do *EV* depende disso mesmo. Ao longo dos últimos anos foram feitos avanços muito importantes nesta área e a próxima década ditará o futuro do *EV*.

2.2.4. CONFIGURAÇÕES TÉCNICAS DE UM *EV*

A combinação mais básica está representada na Figura 17. Consiste num conjunto de baterias que fornecem energia ao controlador também denominado

conversor eletrónico que gere a energia que deve entregar ao ME (já abordado no capítulo sistema de controlo). Este motor fornece potência mecânica às rodas passando através de um sistema de engrenagens e uma embraiagem diferencial. O sistema corrente de engrenagens com várias velocidades presente nos veículos convencionais, aqui é substituído por um sistema de relação o fixa, o que permite eliminar a embraiagem e assim reduzir o tamanho e peso do sistema de transmissão.

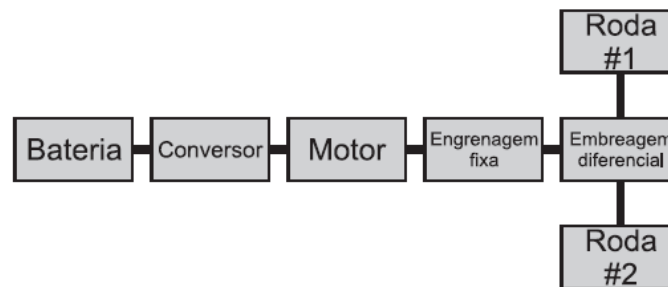



Figura 17 - Carro elétrico com um único motor [50]

Eliminando a embraiagem diferencial, surge a configuração ilustrada na Figura 18. Constituído por dois conversores e respetivos motores, totalmente independentes. O mecanismo de embraiagem diferencial é implementado eletronicamente ajustando-se velocidades ligeiramente distintas para cada um dos motores em trajetos curvilíneos.

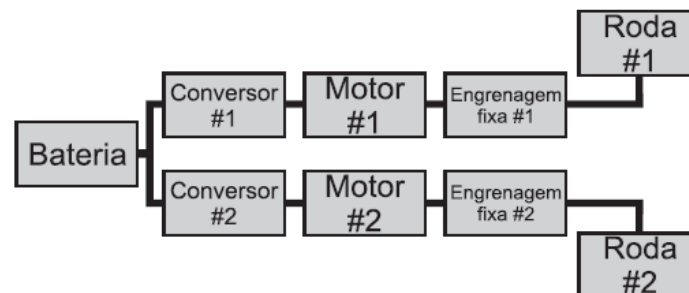



Figura 18 - Carro elétrico com dois motores [50]

Nesta conceção os motores são afixados às rodas de tração recorrendo a engrenagens (sistema *in-wheel*). Apesar de exigir o uso de motores especiais de pequena dimensão e peso, elevada fiabilidade e robustez, esta configuração oferece um grande espaço de manobra, na estrutura do veículo, possibilitando modelos que seriam impossíveis num *ICEV*.

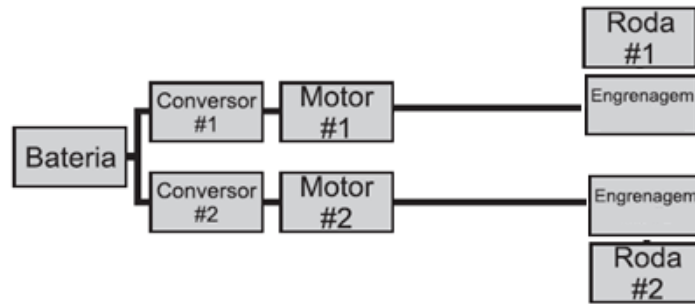



Figura 19 - Carro elétrico com dois motores acoplados às rodas [50]

A configuração representada na Figura 20 incorpora os motores diretamente nas rodas, ou seja as rodas estão ligadas diretamente ao rotor do motor, pelo que o controlo da velocidade do veículo equivale ao controlo direto da velocidade dos motores. Esta configuração aumenta a performance do sistema uma vez que abandona o sistema de transmissão, acoplando um motor a cada roda, aumentando assim o rendimento global do sistema.

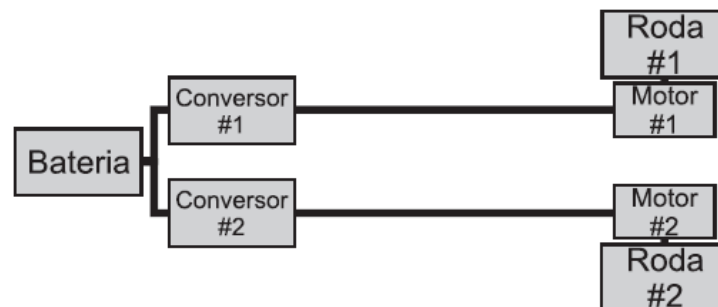



Figura 20 - Carro elétrico com dois motores acoplados diretamente às rodas. [50]

2.3. *HYBRID ELECTRIC VEHICLE* (HEV)

Em uso corrente a expressão “veículo híbrido” refere-se à combinação de um MCI com um ou vários motores elétricos e os correspondentes sistemas de armazenamento de energia (depósito de combustível e bateria). Reúnem a autonomia e disponibilidade de potência característica do MCI, com o pouco ruído, baixos consumos, e melhor performance, característico de um ME, conseguindo um aumento significativo da eficiência do sistema. Estes veículos são bastante vulgares na atualidade.

As possíveis combinações da estrutura de propulsão definem a configuração do veículo híbrido e é sobre as possíveis configurações que o estudo se centra de seguida. [4,9]

2.3.1. SÉRIE

A arquitetura série é caracterizada por o ME ser o responsável pelo acionamento do veículo, pois está acoplado à transmissão, e o MCI serve de suporte ao ME. A eletricidade gerada pelo MCI pode alimentar o motor ou carregar as baterias, funcionando como um carro elétrico auxiliado pelo MCI. Esta arquitetura tem como vantagem a flexibilidade na colocação do MCI, pois não esta acoplado às rodas.

Neste tipo de arquitetura são necessários três mecanismos de propulsão (ME, MCI e gerador) o que diminui a eficiência do sistema. Tem como desvantagem ser necessário dimensionar os três equipamentos para a potência máxima, caso se considere que a energia proveniente das baterias pode não entrar na tração, caso contrário o gerador e o MCI podem ser subdimensionados.

O facto de existirem três equipamentos torna o sistema de propulsão mais pesado e com menor rendimento global, quando comparado com outras configurações.

A arquitetura série adequa-se melhor á condução em cidade, porque nesta vertente há sobretudo o uso da parte elétrica, em viagens longas existem maiores perdas de transmissão.

Existem várias possibilidades de operação:

- MCI desligado e tração apenas pelo ME + bateria
- MCI + Gerador + ME
- MCI + Gerador + Bateria + ME
- MCI + Gerador dividindo a potência pelo motor e para carga da bateria
- Carga estacionária da bateria devido ao MCI + Gerador
- Carregamento da bateria por travagem Regenerativa

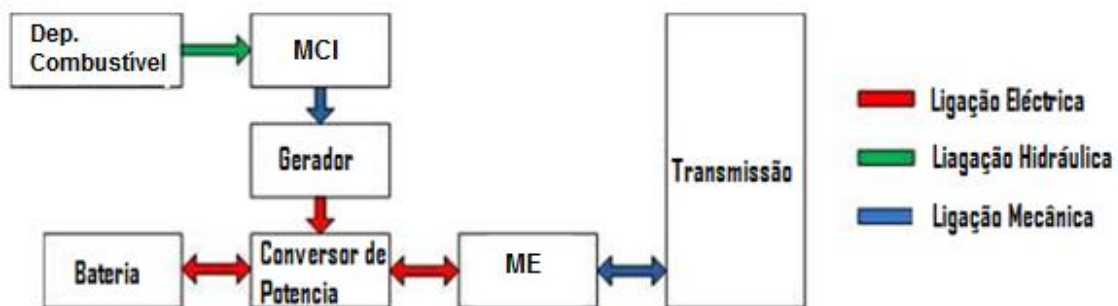



Figura 21 - Arquitetura série [4]

2.3.2. PARALELO

A arquitetura paralela dá a possibilidade de ligação do MCI e do ME à transmissão, através de duas embraiagens independentes, possibilitando que a potência possa ser fornecida por qualquer um, ou pelo conjunto dos dois. O ME pode funcionar como gerador para carregar a bateria, quer em travagem regenerativa quer quando a potência fornecida pelo MCI é superior à exigida na tração. Face à arquitetura série esta tem a vantagem de tanto o MCI como o ME poderem ser subdimensionados para o mesmo desempenho até a bateria estar descarregada, além do facto de necessitar apenas de dois engenhos para a propulsão. A desvantagem desta montagem é o complexo sistema de transmissão para acoplar em simultâneo os dois motores. O ME pode ter diversas funções dependendo da sua potência e possibilidades de operação:

- Apenas MCI na tração
- Apenas ME na tração
- MCI + ME na tração
- MCI na tração e carga da bateria
- Carregamento estacionário da bateria devido ao MCI
- Carregamento da bateria através da Travagem regenerativa

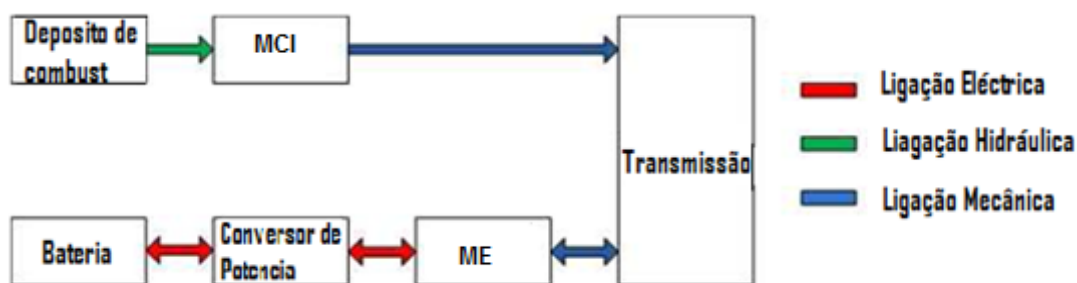



Figura 22 - Arquitetura paralelo [4]

2.3.3. MISTO OU SÉRIE - PARALELO

Este tipo de tipologia engloba as características de ambas as topologias, estes podem funcionar em série ou paralelo. Contudo é necessário o recurso a meios adicionais, um veio mecânico em relação à topologia série e um gerador em relação a topologia paralelo.

Para baixas velocidades a potência é transmitida às rodas apenas pelo ME, em períodos de aceleração a energia é fornecida pelo motor de combustão e

pelo ME, enquanto o gerador recarrega as baterias. As baterias também são recarregadas nas travagens regenerativas ou em velocidades constantes em que MCI aciona o gerador que fornece energia para o ME, o facto de a montagem ser mais complexa torna-a mais cara.

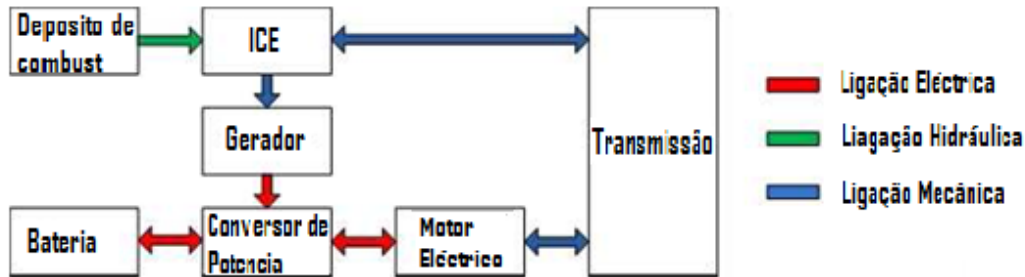



Figura 23 - Arquitetura série - paralelo [4]

O acoplamento mecânico dos três equipamentos (ME, Gerador e MCI) por ser concretizado recorrendo a um sistema de engrenagens planetário, ilustrado na figura 24.

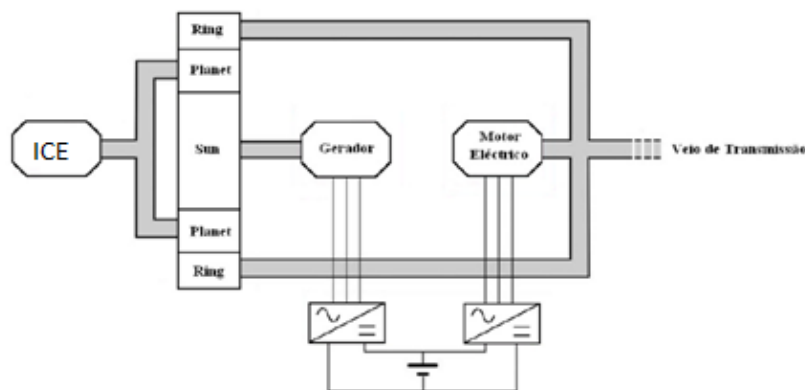



Figura 24 - sistema de engrenagens planetário [26]

Este sistema permite que o MCI funcione em regime de velocidade constante, e a variação da velocidade no veio de transmissão é conseguido regulando a potência fornecida pelo gerador, tratando-se assim de um sistema eletrónico de transmissão variável. Este sistema é mais simples, mais fiável e apresenta melhores rendimentos que os sistemas puramente mecânicos. Com o intuito de melhorar ainda mais estas características estão a ser desenvolvidos novas conceções de sistemas eletrónicos de transmissão e eliminar o sistema de engrenagens planetário, como:

- Combinação de duas máquinas elétricas concêntricas
- Uma só máquina com dois motores

Esta configuração, é a mais utilizada nos veículos híbridos atualmente comercializados. Apresenta boa eficiência em condições de cruzeiro em altas velocidades, ou em situações transitórias em baixas velocidades.

2.3.4. COMPLEXA

Esta arquitetura envolve uma configuração que não pode ser enquadrada em nenhuma das já analisadas. Apesar de ser semelhante á terceira configuração, difere no facto de o gerador ter a possibilidade de ser comportar como um motor.

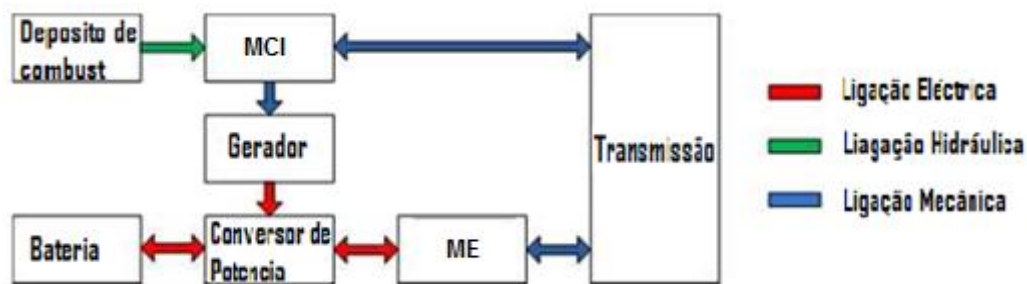



Figura 25 - Arquitetura complexa [4]

Das configurações já analisadas esta é a que apresenta um nível de complexidade mais elevado, bem como maior custo e maiores exigências para controlo do veículo, apesar disso há alguns híbridos recentes que usam esta configuração.

Os veículos híbridos podem ser classificados quanto ao nível de potência do ME e função que desempenha.

MINI

Veículo possui um ME de cerca de 2.5 kW e 12V, que tem como função fazer os arranques do veículo, com este tipo de ME consegue-se um aumento na eficiência de 5 a 10%. [4]

MEDIANO

Veículo possui um ME de cerca de 10 - 20kW e 100 - 200V. Este tipo de motor é característico da arquitetura em paralelo, o motor tem como função o auxílio de MCI. Em condução em cidade conseguimos uma poupança de cerca de 20 a 30% de energia. [4]

COMPLETO

Veículo que possui, tipicamente, um ME de 50kW e 200 - 300V. Este tipo de motor é característico da arquitetura série - paralelo ou complexa, e tem como funções desempenhar o arranque, auxílio do MCI, ou funcionamento isolado. Note-se que existe a tentativa de otimizar a eficiência energética através do regime de funcionamento mais apropriado a cada situação, apenas ME, apenas MCI ou operação conjunta. [4]

Em condução de cidade, é possível obter uma redução nos consumos de cerca de 30%, contudo o custo do veículo agrava-se em 30 a 40%, o que torna esta tecnologia, numa fase inicial, pouco pretendida.

2.4. *INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLE* (ICEV)

O *ICEV* é a tecnologia de propulsão mais vulgar nos transportes. Este sistema consiste em ciclos termodinâmicos que usam o combustível para gerar energia mecânica. Os avanços tecnológicos permitiram evoluir esta tecnologia, contudo ainda apresentam rendimentos bastante baixos, cerca de 30% e representam uma ameaça para o ambiente e para a sociedade. [1]

Neste trabalho analisamos o motor a 4 tempos que é o mais utilizado nos *ICEV*'s. Um motor a 4 tempos tem quatro etapas destintas a que correspondem quatro estados destintos do pistão, representados de seguida na figura 26.

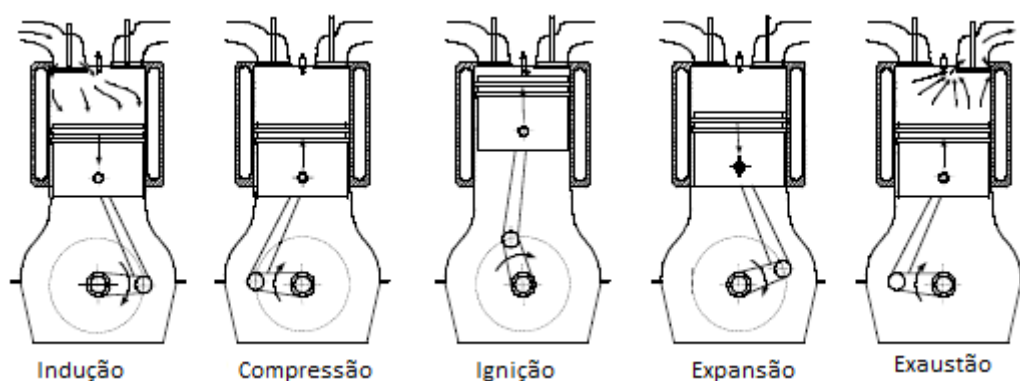



Figura 26 - Ciclo do *ICEV* [1]

Estado 1 – *Indução* – Válvula de admissão aberta e fecho da válvula de escape, o pistão desce e dá-se a entrada no cilindro da mistura ar/combustível.

Estado 2 – *Compressão* – As válvulas fecham, o pistão sobe, aumentando a pressão no cilindro, gera-se uma faísca e dá-se a combustão da mistura ar/combustível.

Estado 3 – *Expansão* – Dá-se a produção de trabalho, a explosão e a pressão no cilindro fazem descer o pistão e a mistura ar/combustível expande-se. No final deste estado a válvula de escape é aberta.

Estado 4 – *Exaustão* – O pistão sobe e expele o resto dos gases do cilindro.

O desempenho dos motores de combustão com aplicabilidade em sistemas de propulsão é definido através:

- Binário máximo disponível em cada velocidade;
- Gama de velocidades e potência em que o motor apresenta um desempenho positivo.

2.5. FUNDAMENTOS AERODINÂMICOS E EFICIÊNCIA DO VEÍCULO

Os fundamentos matemáticos que descrevem o comportamento dos veículos são baseados em princípios gerais de mecânica, e incide particularmente sobre:

- Velocidade do veículo;
- Desempenho;
- Capacidade em subidas;
- Aceleração;
- Consumo;
- Desempenho na travagem.

Na figura 27 estão representadas as forças que atuam num veículo, quando este se encontra numa subida de inclinação α. A força de tração (F_t), na zona de contacto entre os pneus das rodas motrizes e a superfície do pavimento, é produzida pelo binário do motor e transferida às rodas motrizes através da transmissão.

De acordo com a 2º lei de Newton, a aceleração do veículo pode ser representada por:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\sum F_t - \sum F_{tr}}{\delta M_v}$$

Expressão 1

Onde (V), é a velocidade do veículo, $(\sum F_t)$ é o esforço total de tração do veículo, $(\sum F_{tr})$ é a resistência total, (M_v) é a massa total do veículo e (δ) é o fator de massa, que representa o efeito dos componentes rotativos (forças Inerciais). A expressão 1 pretende demonstrar que a velocidade e aceleração dependem do esforço de tração, resistência e massa do veículo. [1,51]

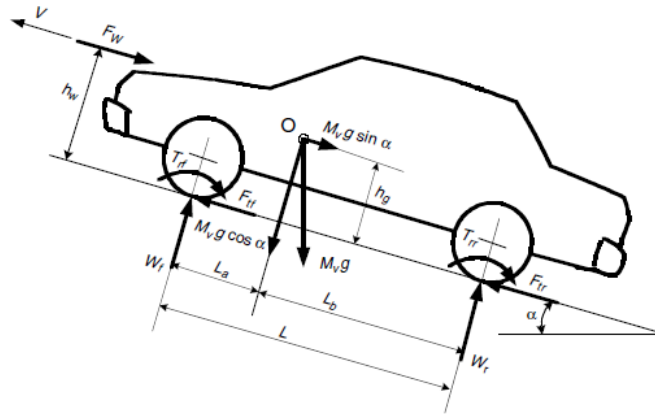



Figura 27 - Forças aplicadas num veículo [51]

Como representado na figura anterior, a resistência do veículo opõem-se ao seu movimento e inclui a resistência de rolamento dos pneus, representado como binário resistivo da rolamento (T_{rf}) e (T_{rr}), resistência aerodinâmica, (F_w), e resistência da subida (M_v.g.sinα), que é tanto maior quanto maior for a inclinação da subida. Todas estas resistências serão analisadas em pormenor no próximo subcapítulo.

2.5.1. RESISTÊNCIA DO VEÍCULO

Nem toda a energia requerida para movimentar o veículo chega às rodas do mesmo, dado que uma parte significativa da energia fica em perdas. A eficiência do veículo pode ser classificada em duas categorias de perdas: Perdas na conversão da energia e perdas resultantes da interação do veículo com o ar e a estrada, representadas da figura 28. Estas perdas são comuns a todos os veículos, independentemente do meio de propulsão utilizado, e minimizá-las é fundamental para maximizar o desempenho e autonomia do veículo.

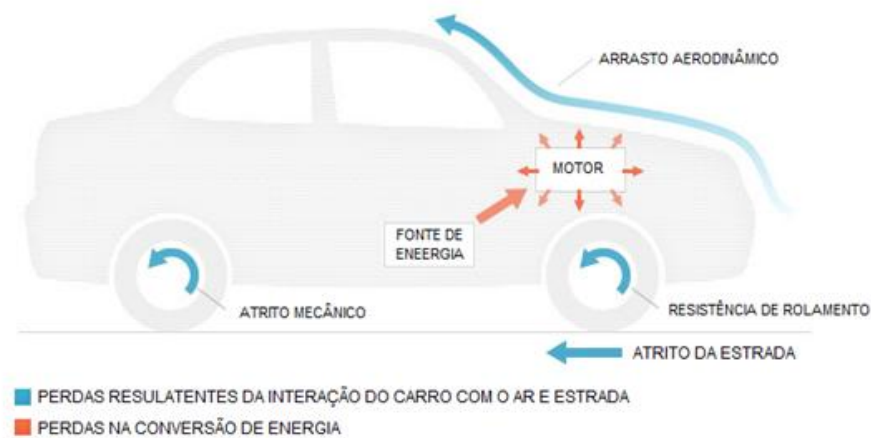



Figura 28 - Eficiência do Veículo [52]

2.5.2. PERDAS RESULTANTES DA INTERACÇÃO DO VEÍCULO COM O AR/ESTRADA

Como já referido, qualquer veículo em movimento está sujeito às perdas resultantes da interação do veículo com a sua envolvente. Podem ser divididas em 3 categorias:

- Resistência de rolamento;
- Resistência aerodinâmica;
- Resistência da estrada.

2.5.2.1. RESISTÊNCIA DE ROLAMENTO

Esta resistência deve-se, fundamentalmente, á distribuição não uniforme da pressão no pneu. Considerando que o peso atua no centro da roda, é criado um momento que se opõe ao movimento da roda.

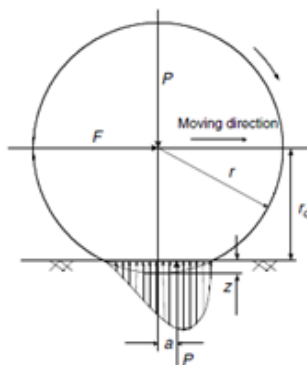



Figura 29 - Piso duro [1]

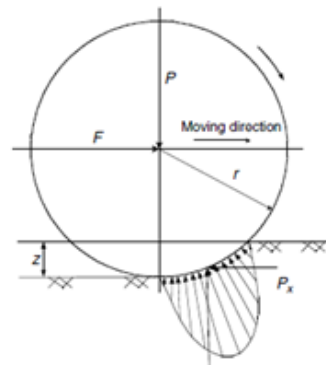



Figura 30 - Piso macio [1]

Como representado na Figura 29, a pressão na parte da frente do pneu em contacto com o solo é maior que na parte de trás. Em superfícies macias, a resistência ao rolamento é causada, principalmente pela deformação da superfície do solo, como representado na Figura 30. Quanto maior a deformação no solo, maior será a resistência de rolamento.

Em termos práticos o momento de rolamento pode ser substituído por uma força equivalente aplicada ao centro da roda, com direção e sentido contrário ao movimento. Esta força denomina-se de força de rolamento, e pode ser calculado pela expressão:

$$\boldsymbol{F_r = Pf_r}$$ *Expressão 2*

Onde *P* é a força normal, ou seja correspondente á componente normal do peso que atua sobre a roda, e $f_r = \frac{a}{r_d}$, é denominado coeficiente de rolamento.

Os avanços tecnológicos no fabrico dos materiais, permitiu melhorar os pneus e baixar o seu coeficiente de rolamento e consequentemente os consumos dos veículos. Este coeficiente depende essencialmente, do material e estrutura do pneu, da temperatura e pressão do ar dentro do pneu, da geometria do piso do pneu, do material e rugosidade do solo e da presença de líquidos ou sólidos sobre o solo. Para além destes, a velocidade influencia o coeficiente de rolamento, contudo este fator não foi tido em conta na tabela apresentada de seguida com valores típicos.

Tabela 6 - Coeficientes de rolamento [51]

CONDIÇÕES	COEFICIENTE DE ROLAMENTO
PNEU DE CARRO/ASFALTO	0.013
PNEU DE CARRO/GRAVILHA	0.02
PNEU DE CARRO/PARALELO	0.025
PNEU DE CARRO/TERRA	0.05
PNEU DE CARRO/ TERRENO LAVRADO	0.1 - 0.35
PNEU DE CAMIÃO/ASFALTO	0.006 - 0.01
RODA DE COMBOIO/CARRIL	0.001 - 0.002

Existem algumas expressões práticas para calcular o coeficiente de rolamento de veículos de passageiros:

$$f_r = f_0 + f_s \left(\frac{V}{100}\right)^{2.5}$$ *Expressão 3*

Onde (V), representa a velocidade do veículo em km/h e (f_0) e (f_s) são fatores que dependem da pressão dos pneus.

Sob condições recomendadas por fabricantes e velocidade até 128km/h, pode-se considerar a expressão:

$$f_r = 0.01\left(1 + \frac{V}{100}\right)$$ *Expressão 4*

2.5.2.2. RESISTÊNCIA AERODINÂMICA

Um corpo em movimento a uma qualquer velocidade, num meio gasoso está sujeito a resistência aerodinâmica, composta por duas componentes:

- Resistência de forma;
- Resistência de fricção.

O movimento natural do veículo, interage com o ar envolvente, uma vez não ser possível o ar mover-se instantaneamente da frente do veículo, nem preenche instantemente com ar o espaço deixado pelo veículo. Na frente do veículo cria-se uma zona de alta pressão, e na traseira do veículo uma zona de baixa pressão. Com o movimento do veículo, são então criadas duas zonas de pressão que se opõem ao seu movimento natural.

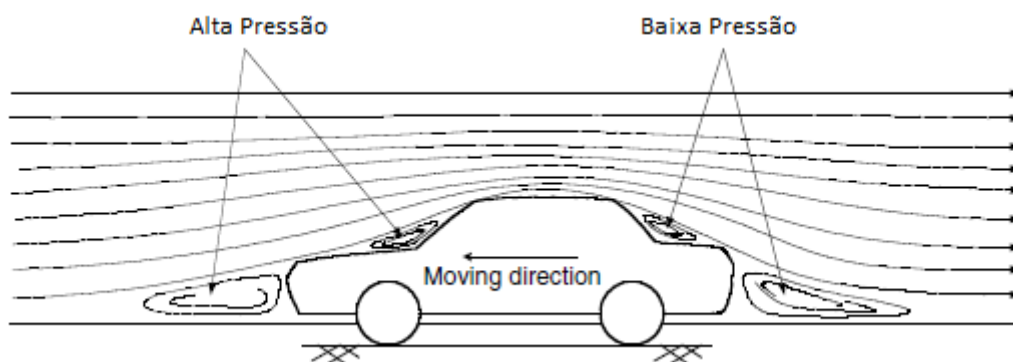



Figura 31 - Zonas de pressão de ar com veículo em movimento [51]

A resistência aerodinâmica é função da velocidade do veículo (V), da área frontal do veículo (A_f), da forma do veículo e da densidade do ar (ρ). é expressada pela seguinte expressão:

$$F_w = \frac{1}{2}\rho A_f C_D (V_{ar})^2$$ *Expressão 5*

C_D representa o coeficiente de resistência aerodinâmica, que depende da forma do veículo e (V_{ar}) é a componente da velocidade do vento relativamente ao veículo. O coeficiente aerodinâmico para algumas formas de veículo é apresentado na tabela seguinte.

Tabela 7 - Coeficientes de resistência aerodinâmica [51]

FORMA DO VEÍCULO	C_D
DESCAPOTÁVEL	0,5 – 0,7
CARRINHA	0,5 – 0,7
FAMILIAR	0,4 – 0,55
DESPORTIVO	0,3 – 0,4
PROTÓTIPO	0,2 – 0,25
PROTÓTIPO AERODINÂMICO	0,15 – 0,20
CAMIÕES	0,8 – 1,5
AUTOCARROS	0,6 – 0,7
MOTAS	0,6 – 0,7

Diminuir a resistência aerodinâmica do veículo é fundamental, pois é um fator que tem bastante impacto nos consumos. Os Engenheiros têm o cuidado de na fase de projeto ajustar as formas do veículo, com linhas suaves e aerodinâmicas e simultaneamente reduzir ao máximo o seu peso e área frontal, tendo sempre em consideração a segurança e a estética do veículo.

2.5.2.3. RESISTÊNCIA DA "ESTRADA"

Como já referido anteriormente a resistência associada a uma inclinação é dada pela expressão ($F_g = M_v g \sin \alpha$). A Resistência da "Estrada" é determinada pela associação da resistência do rolamento com a resistência proveniente de uma inclinação.

$$F_{rd} = F_f + F_g = M_v g(f_r cos\alpha + sin\alpha) \qquad \textit{Expressão 6}$$

Se a inclinação for pequena, a expressão pode ser simplificada:

$$F_{rd} = F_f + F_g = M_v g(f_r + i), \qquad i = \frac{H}{L} = tan\alpha \qquad \textit{Expressão 7}$$

2.5.2.4. PERDAS NA CONVERSÃO DE ENERGIA

Dois veículos com idênticos valores de perdas resultantes da interação do veículo com a envolvente, podem ter um valor de eficiência global muito divergentes devido à diferença de eficiência nos processos de conversão de energia.

Na tabela 8, estão representados os valores de rendimentos típicos de alguns componentes mecânicos de um veículo.

Tabela 8 - Rendimentos típicos de componentes mecânicos [1]

COMPONENTE	RENDIMENTO
EMBRAIAGEM	99%
CADA PAR DE VELOCIDADES	95 – 97%
DIFERENCIAL E ACOPLAMENTO	98 – 99%
MCI	25 - 35%
ME	80 - 90%
CONTROLADOR	95%
BATERIA	90%

O rendimento mecânico global da transmissão entre o motor de propulsão e as rodas do veículo é dado pela multiplicação dos rendimentos de toda a linha motriz.

Geralmente os valores médios, considerando que o veículo tem uma caixa de velocidades manual, ronda os 90% para uma velocidade com uma razão de transmissão igual 1 e 85% para as restantes velocidades.

A figura 32 representa o processo da energia elétrica até chegar às rodas motrizes, num *EV*. Todos os equipamentos elétricos têm rendimentos bastante elevados (tabela 8) e podemos facilmente calcular o rendimento global do processo multiplicando os rendimentos de toda a linha motriz.

A energia química é armazenada na Bateria e convertida para energia elétrica com um rendimento de cerca de 90%; a energia entra no Controlador e este gere a energia que é entregue ao motor com um rendimento que ronda os 95%; o ME converte a energia elétrica em energia mecânica (85%); o bloco "movimento" representa as perdas mecânicas desde o motor até às rodas motrizes. Estas perdas são quase nulas, uma vez o que o *EV* não precisa de embraiagem nem transmissão, e assim o rendimento mecânico é de 99%; feitos os cálculos o *EV* apresenta um rendimento médio final de 72%.

Figura 32 – Eficiência do *EV* (Baseado em [52])

No caso do *ICEV*, os rendimentos já são bem mais reduzidos que no *EV*. Na figura 33, está representado o processo da energia até chegar às rodas motrizes. No *ICEV* a energia química é armazenada como combustível no depósito, no MCI dá-se a combustão, transformando a energia química em energia térmica, e está energia que aciona os pistões que a transformam esta ultima em energia mecânica. Todo este processo tem um rendimento muito baixo. O *ICEV* de ultima geração tem um rendimento que ronda os 30%, se multiplicarmos este valor pelo rendimento mecânico, cerca de 85%, concluímos que apenas 25% da energia do combustível chega às rodas motrizes.

Pode-se concluir que com 1kWh o *EV* consegue percorrer 3 vezes mais distância que o *ICEV*. [52,53]

Figura 33 - Eficiência do *ICEV* (Baseado em [52])

O processo de conversão de energia num *HEV* é a combinação do processo do *EV* e do *ICEV*. A eficiência global *HEV* é melhor que a do *ICEV*, pois é possível obter energia do ME e capturar energia através da travagem regenerativa. O *HEV* representa uma solução de transição entre o *ICEV* e o *EV*, contudo é de salientar que o *HEV* depende de combustíveis fósseis para funcionar, ou seja não é uma solução para acabar com a dependência do petróleo.

Figura 34 - Eficiência do *HEV* (Baseado em [52])

Por serem cada vez mais evidentes as vantagens do *EV* face ao *ICEV*, é que abordar o tema da conversão de veículos faz todo o sentido, principalmente na conjuntura atual, com o mercado automóvel em franca estagnação e com o parque automóvel Português cada vez mais antiquado.

CAPÍTULO 3

PARQUE AUTOMÓVEL EM PORTUGAL

A ACAP disponibiliza no seu site uma grande quantidade de dados relativos ao parque automóvel Português, a última análise realizada foi em 2010.

Neste estudo apenas foram aproveitados os dados relativos a veículos ligeiros de passageiros e comerciais ligeiros, pois o objetivo é perceber a quantidade de veículos que apresentam potencial de conversão e os veículos ligeiros são os mais indicados, uma vez que apresentam pesos mais reduzidos, geralmente entre 900 e 1500Kg, aspeto que é fundamental para que uma conversão seja eficaz e o mais barata possível.

Nos últimos anos a venda de veículos novos tem reduzido, mas o parque automóvel tem vindo a crescer, a 31 de Dezembro de 2010 era constituído por 5 832 600 veículos, sendo que 4 480 000 veículo ligeiros de passageiros 1 205 000 veículos comerciais ligeiros e 147 600 veículos pesados. Os consumidores estão a trocar menos de carro, logo o parque automóvel português está a ficar mais velho.

Na Figura 35 e 36 os veículos ligeiros de passageiros e comerciais ligeiros, respetivamente, foram agrupados por idades. É de notar que 55% dos veículos ligeiros de passageiros têm uma idade entre 5 e 15 anos, o que representa 2 464 000 veículos por outro lado existem 722 685 de comerciais ligeiros com a idade compreendida neste mesmo intervalo, o que faz um total de 3 186 685 veículos. Esta análise é feita tendo em consideração apenas as características do veículo, pois como é óbvio uma

conversão tem que sempre bem ponderada e tendo em consideração o perfil de condução do proprietário.

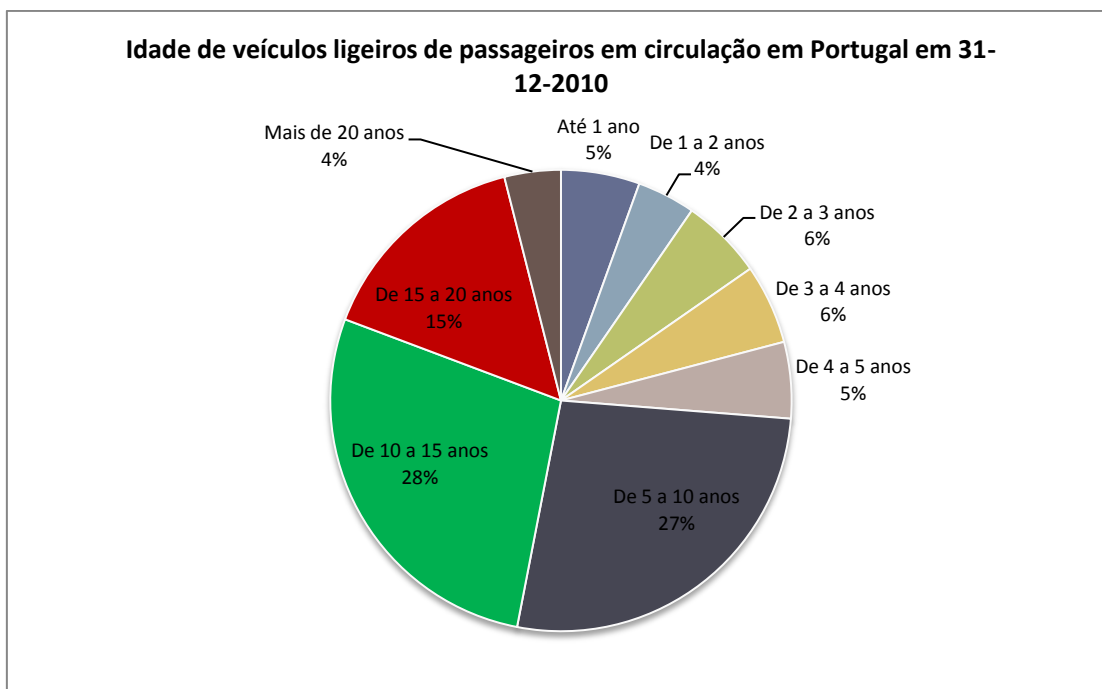



Figura 35 - Idade de veículos ligeiros de passageiros (Dados ACAP [54])

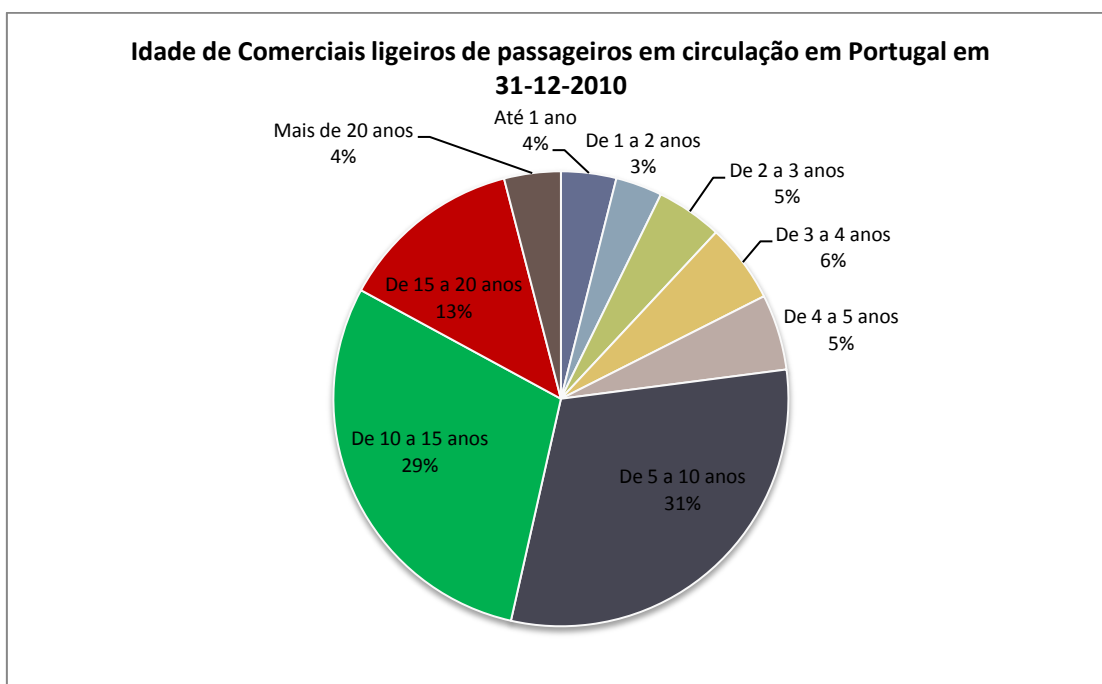



Figura 36 - Idade de comerciais ligeiros de passageiros (Dados ACAP [54])

Naturalmente a densidade de veículos é maior nos centros urbanos mais populosos, nomeadamente Porto e Lisboa, que em conjunto acumulam cerca de 39% dos veículos.

Perceber esta distribuição de veículos é fundamental, caso se pretenda começar um negócio na área da conversão de veículos, Porto ou Lisboa seriam as localizações geográficas ideias para implementar o negócio. O Porto seria a localização ideal uma vez que apesar de ter uma densidade de veículos menor, não existe concorrência nenhuma, ao invés de Lisboa onde já existe a empresa Tecnitron situada próximo de Palmela envolvida neste negócio. [55]

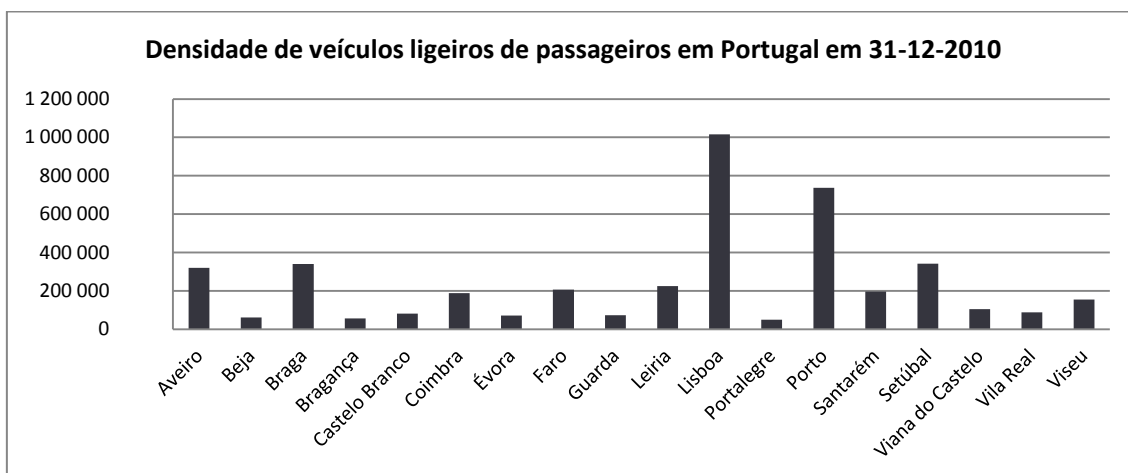



Figura 37 - Densidade de veículos ligeiros de passageiros (Dados ACAP [54])

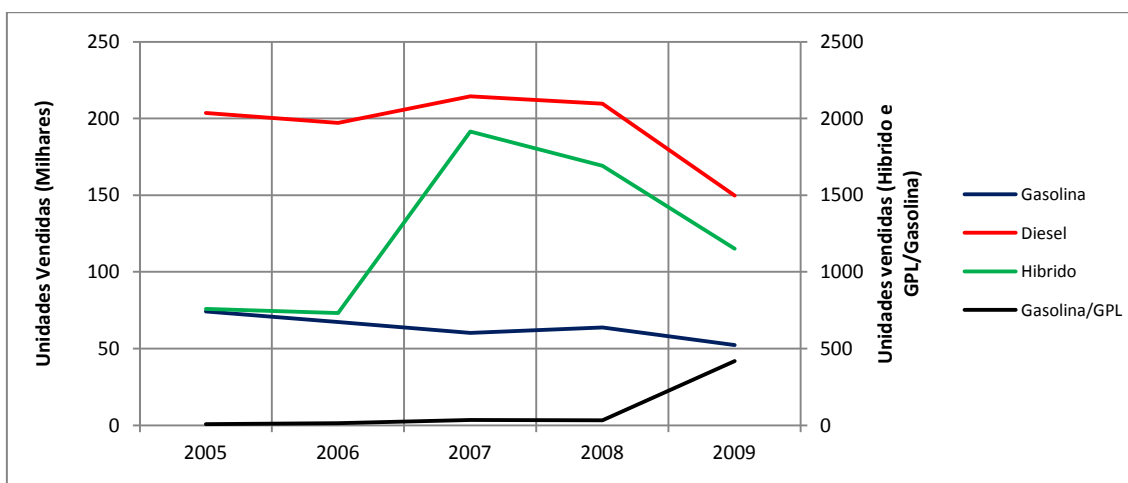



Figura 38 - Unidades de veículos vendidos por tipo de combustível (Dados ACAP [54])

Em 2011, foi iniciada a comercialização do veículo elétrico em Portugal, e as vendas estão abaixo do que seria de esperar. Os mais otimistas esperavam que até ao final de 2011 fossem vendidos cerca de 5000 veículos elétricos (com direito ao incentivo de 5000€), contudo o agravamento da crise financeira e as recessões nos países da zona Euro, levou a uma grande contração do mercado e ao fim do incentivo

à compra de veículos elétricos. A venda de veículos em Portugal diminui consideravelmente face a 2010, é normal que a venda de *EV* também não tenha tido a expansão que se esperava.

Segundo dados da ACAP, até 2012 foram vendidos 231 *EV's* em Portugal, como representado na tabela 9.

Tabela 9 - Veículos elétricos vendidos em Portugal (Dados ACAP [54])

MARCA	/ **MODELO**	**2010**	**2011**	**2012**	TOTAL
NISSAN	***LEAF***	10	99	-	**109**
PEUGEOT	***ION***	-	50	-	**50**
MITSUBISHI	***I-MIEV***	3	21	-	24
RENAULT	***FLUENCE***	-	13	10	**23**
SMART	***FORTWO***	5	14	-	**19**
CITRÖEN	***C-ZERO***	-	6	-	**6**
TOTAL		18	203	10	**231**

Durante este ano, 2012 a venda de veículos elétricos não se espera muito elevada. Por um lado o estado acabou com o incentivo de 5000€ na compra de um *EV*, por outro lado a crise económica continua e o consumidor geralmente opta pelo gasto mais económico a curto prazo, ou seja os *ICEV's*.

CAPÍTULO 4

LEGISLAÇÃO

Em Portugal, as alterações nas características originais dos veículos estão sujeitas a aprovação por parte do Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT).O objetivo é assegurar que os veículos no mercado cumpram requisitos comuns, nomeadamente segurança ativa e passiva, proteção do meio ambiente e desempenho.

Antigamente a diretiva que regulava as homologações era a Diretiva Quadro 70/156/CEE, contudo os *EV's* não estavam abrangidos, e assim não tinham que cumprir os requisitos harmonizados pela União Europeia, a partir de 29 de Abril de 2009 a homologação Europeia de Veículos ficou regulada pela Diretiva Quadro 2007/46/CE, aplicável a todos os automóveis independentemente do meio de propulsão utilizado. O Decreto – Lei n.º 16/2010 "transpõe para o direito interno a Diretiva n.º 2007/46/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Setembro, relativa à homologação dos veículos a motor e seus reboques, e dos sistemas, componentes e unidades técnicas destinados a serem utilizados nesses veículos e aprova o Regulamento que Estabelece o Quadro para a Homologação CE de Modelo de Automóveis e Reboques, Seus Sistemas, Componentes e Unidades Técnicas…" e "transpõe, também, para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2009/1/CE, da Comissão, de 7 de Janeiro, alterando o Regulamento Que Estabelece as Disposições

Administrativas e Técnicas para a Homologação dos Veículos das Categorias M1[4] e N1[5], Referentes à Reutilização, Reciclagem e Valorização dos Seus Componentes e Materiais, aprovado pelo Decreto – Lei n.º 149/2008, de 29 de Julho."

Em alternativa às diretivas já mencionadas existem os regulamentos da *CEE-ONU* (*United Nations Economic Commission for Europe* (UNECE)), nomeadamente o regulamento nº100 que define os requisitos referentes à segurança da instalação elétrica em veículos elétricos a baterias, de aplicação obrigatória desde Janeiro de 2011.

2.6. REGULAMENTO Nº100 DA CEE-ONU (UNECE)

Este Regulamento prescreve requisitos específicos relativos a construção e segurança de veículos elétricos a bateria com fim à homologação. [56]

É referido no parágrafo 4 do Regulamento que um veículo submetido para aprovação que cumpra os requisitos enunciados no parágrafo 5 (Requisitos na construção do veículo) e anexos 3, 4 e 5 do referido regulamento a aprovação deve ser garantida. Dada a importância dos requisitos nos referidos parágrafos destacam-se de seguida os de maior relevância.

2.6.1. REQUISITOS NA CONSTRUÇÃO DO VEÍCULO

2.6.1.1. BATERIA

Deve ser instalada num lugar ventilado, onde não permita a acumulação de gases perigosos e cada *pack* de baterias deve ser protegido por fusível ou disjuntor apropriado.

2.6.1.2. PROTEÇÃO CONTRA CONTACTOS DIRETOS

O contacto direto com partes ativas de no mínimo 60V *DC* ou 25V *AC* devem ser protegidas pela instalação de grelhas ou folhas de metal perfuradas e as proteções não devem conseguir ser retiradas sem a ajuda de ferramentas.

---

[4] Veículos concebidos e construídos para o transporte de passageiros com oito lugares sentados no máximo, além do lugar do condutor.

[5] Veículos destinados ao transporte de mercadorias, com massa máxima em carga tecnicamente admissível não superior a 3,5 t.

No habitáculo e na mala os elementos sob tensão devem estar protegidos por invólucros com grau de proteção de, no mínimo IPXXD. Nas outras zonas do veículo o grau de proteção mínimo é de IPXXB.

Estes códigos de proteção (IPXXB e IPXXD) indicam o grau de proteção de pessoas contra o acesso às partes perigosas e estão relacionados, respetivamente, com o contacto de um dedo de ensaio articulado (B) e um fio de ensaio (D) com as partes perigosas. As letras adicionais só são utilizadas se a proteção de acesso às partes perigosas for superior que a indicada pelo primeiro algarismo, ou se o índ*ice* de proteção geral não for indicado, como é o caso.

No compartimento do motor o acesso às partes ativas só deve ser possível por ato voluntário.

2.6.1.3. PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS INDIRETOS

Os contatos indiretos devem ser protegidos por isolamento e adicionalmente, as partes condutoras expostas devem ser equipotencializadas, ligando as partes expostas a um condutor comum, como por exemplo, um fio de terra ou o chassi metálico do veículo.

2.6.1.4. RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

A medição da resistência de isolamento deve ser realizada depois do veículo estar em funcionamento 8h, nas seguintes condições:

- Temperatura de 23±5 ºC
- Humidade de 90%±10/-5%

Utilizando um equipamento de medição de tensão *DC* igual à tensão nominal da bateria, a resistência entre partes condutoras expostas e cada polo da bateria deve ter um valor mínimo de 500Ω/V. é de salientar que a medição deve ser feita quando a bateria estiver completamente carregada e por um voltímetro de resistência interna superior a 10MΩ.

2.6.1.5. RESISTÊNCIA DO CONDUTOR DE PROTEÇÃO

A resistência de equalização do potencial entre duas partes condutoras expostas deve ser inferior a 0,1Ω.

2.6.1.6. CONEÇÃO DO VEÍCULO COM A REDE

Em nenhum caso o veículo pode ter capacidade de se movimentar sozinho quando conectado a uma fonte de energia externa.

Os equipamentos utilizados quando se está a carregar o veículo de uma fonte exterior devem permitir o corte da corrente em casa de corte sem provocar estragos físicos

As partes do sistema de acoplamento que possam estar vivas, devem ser protegidas contra contactos diretos e todas as condições de funcionamento, bem como todas as partes condutoras expostas devem estar eletricamente ligadas ao fio de terra.

2.6.1.7. REQUISITOS FUNCIONAIS DE SEGURANÇA

Ligar o sistema deve ser feito através de um interruptor de chave.

2.6.1.8. CONDIÇÕES PARA PARAR E ARRANCAR

No mínimo deve ser dado uma indicação ao condutor quando:

- O veículo se encontra no “modo ativo de condução”;
- Quando é necessário mais um passo para que fique no “modo ativo de condução”.

Quando a bateria atinge o mínimo de carga indicado pelo fornecedor, o condutor deve ser avisado atempadamente por forma a ainda conseguir conduzir o veículo, no mínimo para fora da zona de trânsito.

A aceleração, desaceleração ou inversão de marcha não intencional não deve causar um movimento superior a 0,1m no veículo parado e destravado.

Caso o condutor abandone o veículo e o deixe no “modo ativo de condução”, deve haver um sinal luminoso ou sonoro que denuncie a situação.

Deve existir um dispositivo de corte geral que impeça o fornecimento de energia das baterias para o motor em caso de emergência. Este interruptor deve poder ser acionado diretamente pelo condutor a partir do seu posto de condução e ter acionamento exclusivamente mecânico.

2.6.1.9. INVERSÃO DE MARCHA

A inversão de marcha só deve ser possível quando se combinam dois atos destintos ou através de um interruptor elétrico que permita a inversão de marcha quando o veículo se desloca a uma velocidade máxima de 5km/h. Acima dessa velocidade todas as ações devem ser ignoradas. Deve ser visível para o utilizador para que direção o veículo se vai mover quando este pisar o acelerador.

2.6.1.10. MARCAÇÃO

As proteções contra contactos diretos, descritas anteriormente devem ser marcadas com o símbolo, representado na figura 39.

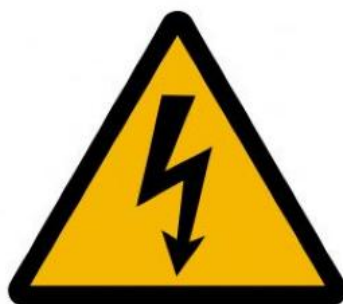



Figura 39 - Símbolo de elemento sobre tensão [56]

Deve ser afixado em lugar visível e acessível na ficha de homologação a marca de homologação CE, que consiste na letra “E” rodeada por um círculo seguida do número do país onde é realizada a homologação, que no caso de Portugal é o número 21.

Na figura 40, está representado um exemplo da marcação CE onde se refere que a homologação foi realizada em Portugal, ao abrigo do regulamento nº100, homologação numero 002492. Os dois primeiros dígitos indicam que os requisitos foram cumpridos de acordo com o Regulamento nº100 na sua forma original.

Figura 40 - Marcação internacional de Homologação [56]

2.7. DECRETO – LEI N.º 16/2010

O Decreto – Lei n.º 16/2010 indica o procedimento para homologação de um veículo cujas características tenham sido alteradas, garantindo que a segurança de circulação e proteção do meio ambiente se mantiveram, pelo menos iguais às que o veículo apresentava antes da transformação.

O tipo de aprovação pode ser individual (válida apenas para o veículo submetido a aprovação) ou coletiva (válida para veículos com características semelhantes ao submetido para aprovação), sendo que a homologação coletiva tem que cumprir mais requisitos que a individual. Para o caso em concreto o que se pretende é uma homologação individual para o veículo que vais sofrer as alterações.

De uma forma geral, as alterações têm que ser previamente aprovadas pelo IMTT. O fabricante ou, no caso de homologação individual, o proprietário deve preencher o modelo número 9 do IMTT (Anexo B - Homologação) e juntar todo o tipo de elementos que ajudem a entender o projeto, como memória descritiva, desenhos, fotografias, e outros detalhes. Se assim entender o IMTT pode pedir um parecer favorável do fabricante e as alterações que possam ter impacto na segurança geral do veículo podem ter que ser certificadas por uma pessoa da área de mecânica. Para finalizar o veículo deve ser submetido a aprovação por parte de um centro de inspeção técnica de veículos de categoria B.

Depois de cumpridos os requisitos referentes à segurança da instalação elétrica em veículos elétricos a baterias, presentes no regulamento nº100 da UNECE e seguir o procedimento de homologação individual presente no Decreto – Lei N.º 16/2010, o IMTT deve emitir, sem atrasos injustificados, o certificado de homologação individual do veículo. É de referir que a homologação individual concedida pelo IMTT é limitada ao território Português, caso de pretenda vender, matricular ou colocar em circulação noutro estado membro, o IMTT deve emitir uma declaração que refira as disposições técnicas nas quais o veículo foi homologado e assim ser permitida a circulação noutros estados membros.

CAPÍTULO 5

PROJETO DE CONVERSÃO

5.1. GENERALIDADES

Como base para elaboração desta memória descritiva está o estudo prévio realizado, que segue no Anexo A - Equipamentos para conversão. Para além da apresentação das várias hipóteses de equipamentos a utilizar, esta folha *excel* também tem o estudo da distribuição dos equipamentos no veículo, estudo dinâmico (permitiu perceber o impacto que as forças resistivas, o pavimento e as inclinações têm no desempenho do veículo) e estudo económico, onde se faz a análise da conversão do ponto de vista económico com cálculo do investimento e tempo de retorno de investimento.

Na fase inicial deste projeto foi estudada a possibilidade de comprar um Kit de conversão que se adaptasse ao veículo original, o problema é que das várias empresas contactadas (*Grassroots – Electric Vehicles*, *Wilderness Electric Vehicles*, *Electro Automotive*, *Electroauto*, *Canadian Electric*, *McMob*) não existe um kit de conversão para o VW Golf 2 e os kits “Universais” podem dar problemas na fase de montagem. Por outro lado a relação Desempenho/Preço é melhor quando se realiza uma conversão como a desenvolvida neste projeto.

O veículo escolhido para realizar a conversão, é um *VW Golf* 2 do qual sou proprietário. É um veículo com 23 anos e um valor de mercado quase nulo, apresenta

excelentes características para ser submetido a uma conversão, nomeadamente excelente condições mecânicas, baixo peso e elevados consumos.

Os requisitos gerais que um veículo deve ter para que a conversão seja realizada com sucesso são os seguintes:

- Idade compreendida entre 5 e 15 anos – É importante que a veículo se encontre em bom estado de conservação, com tempo de vida útil elevado para amortizar o investimento;

- Peso reduzido – Necessitam de motores com potência reduzida bem como baterias com menor capacidade, e isto permite reduzir o custo da conversão.

O veículo tem as seguintes características:

- Ano: 1989
- Peso: 865Kg
- Combustível: Gasolina
- Motor: 1300c.c.
- Dimensões: 3985 x 1350 x 1665 (mm)
- Área frontal: 1,9 m^2
- Volume: 9,4 m^3

Figura 41 - Volkswagen Golf 2

5.2. OBJETIVOS

O que se pretende com esta conversão é que o veículo seja capaz de deslocações citadinas, com autonomia para realizar 100km diários, não há necessidade de disponibilidade de grandes binários nem elevadas velocidades, mas com capacidade para realizar algumas acelerações repentinas, em caso de arranques ou ultrapassagens e velocidade máxima de 100km/h. Com um orçamento de cerca de 10.000€.

5.3. DESCRIÇÃO E JUSTIFICAÇÃO DAS ESCOLHAS

5.3.1. MOTOR

Como já referido, na maioria das conversões utilizam-se motores *DC*, pois os controladores são mais fáceis de realizar, logo mais baratos, por outro lado geralmente os motores *DC* são mais baratos para a mesma potência e binário. Como o custo da conversão é um fator muito relevante, nesta conversão adotou-se o motor *DC*.

Com o objetivo de auxiliar a escolha do motor para realizar a conversão fizeram-se alguns cálculos aerodinâmicos, presentes na tabela 10 e 11. O estudo aerodinâmico consistiu em calcular a potência necessária para deslocar o veículo a uma determinada velocidade, tendo em consideração o arrasto aerodinâmico, a resistência de rolamento e a resistência associada à inclinação. Todos estes parâmetros já foram abordados no capítulo sobre resistência aerodinâmica e eficiência do veículo.

Tabela 10 - Estudo Aerodinâmico

Veículo					
Comprimento (mm)	Altura (mm)	Largura (mm)	Área Frontal (m^2)	Volume (m^3)	Veículo
3985	1665	1415	2,356	9,389	PEQUENO

Forma do Veículo	Familiar	0,475	Peso do veículo (Kg)	897
Piso	Asfalto	0,013		
Velocidade do veículo (Km/h)	100			
Velocidade do veículo (m/s)	27,78			
Arrasto Aerodinâmico (W)	14391,57			
Se o percurso tiver súbidas, indique o grau de inclinação	5			
Resistência de Rolamento + Resistência associada á inclinação (W)	24469,23			
ENERGIA TOTAL (W)	38860,79	Por cada 100 m sobe:	8,7	
POTÊNCIA DO MOTOR (kW)	46,63			

Os cálculos dinâmicos realizados, permitiram fazer uma previsão da potência do motor em diversos pavimentos e inclinações. Como o veículo a ser convertido se destina a deslocações citadinas não faz sentido o estudo para qualquer outro tipo de pavimento, que não o de asfalto.

Tabela 11 - Velocidade / Pavimento

INCLINAÇÃO (º)	VELOCIDADE (KM/H)	POTENCIA (KW)	PAVIMENTO
0	60	6,05	Asfalto
	100	21,14	Asfalto
5	60	21,6	Asfalto
	100	47,06	Asfalto
10	60	37,02	Asfalto
	100	72,75	Asfalto
15	60	52,18	Asfalto
	100	98,02	Asfalto

O motor escolhido é um *Kostov K9''* 144V de 24kW de potência nominal. É um motor compacto, com apenas 45Kg com excitação série. Apresenta as características ideais para aplicação em sistemas de tração: custo moderado, elevado rendimento e elevadas potências instantâneas em diferentes regimes de carga, como representado na figura 42.

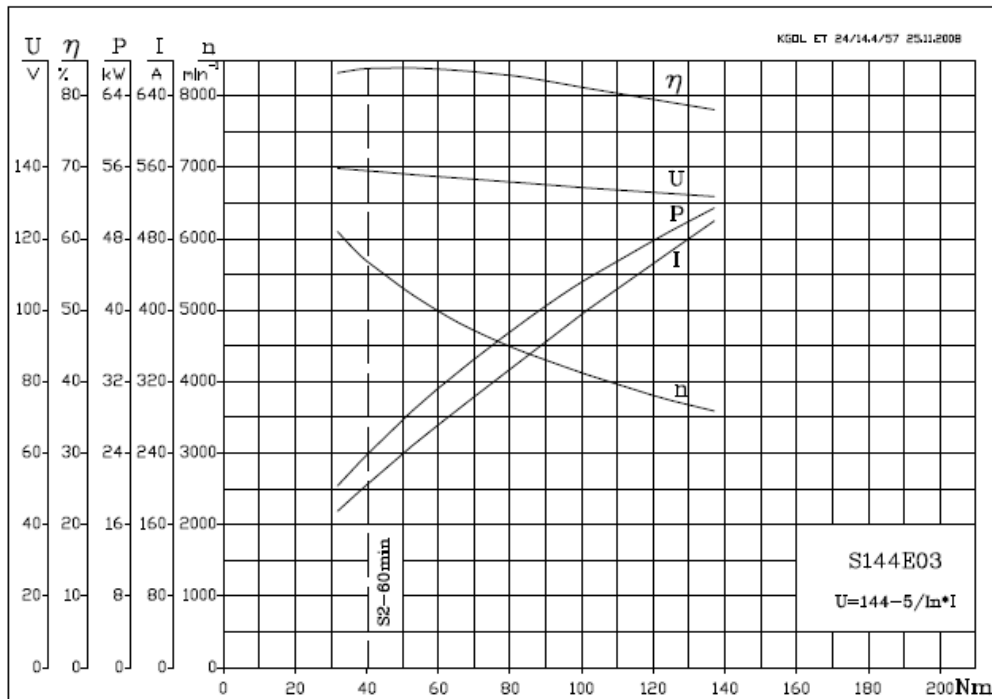



Figura 42 - Características do motor [57]

Na figura anterior estão representadas as características de desempenho do motor. Como é fácil de ver apresenta um elevado rendimento, como é típico dos motores elétricos, atingindo o seu pico aos 50Nm de binário com uma rotação de cerca de 5300rpm. A corrente em regime nominal é de 200 A, mas pode chegar a cerca de 500 A de pico, com um binário de 130Nm.

Figura 43 - *Kostov K9''* [57]

O motor escolhido tem uma maior manutenção que os motores *AC* ou *brushless*, devido às escovas que estão em contacto com o comutador. O contacto resulta em desgaste e com o tempo essas escovas têm que ser substituídas, contudo foi o escolhido devido á grande diferença de preço entre ele e o motor *brushless*.

O motor será instalado no espaço retirado pelo antigo motor térmico, e ligado à transmissão através de uma placa apropriada para essa tarefa, geralmente denominada de “placa adaptadora”. A ligação entre o ME e a transmissão do motor térmico é uma tarefa que requer bastante precisão e é necessário ter especial cuidado, um erro na ligação pode danificar o motor permanentemente. Ao aparafusar a placa adaptadora ao motor é preciso ter cuidado com o comprimento dos parafusos, pois estes podem ser demasiado compridos e danificar o motor quando este estiver em rotação. O ideal é aparafusar apenas um parafuso, rodar o eixo do motor lentamente e verificar se não há contacto, e só depois aparafusar os restantes.

As placas adaptadoras variam, consoante o modelo de veículo a converter, aqui pode-se aplicar o modelo #300-VW-GE1-09 disponibilizado pela *EVSource*. [58]

O motor escolhido (*Kostov K9” - 24kW*), representa a solução ideal para esta conversão, apresentando características de robustez, fiabilidade, desempenho e preço que se enquadram com o que é pretendido. Apesar de haver uma grande diversidade de motores com características que superam este em muitos aspetos, o fator preço foi determinante na escolha.

Opções:

1. O motor mencionado não é capaz de realizar regeneração nas travagens, para tornar isso possível é necessário trocar o motor. Para que não haja uma variação significativa no preço a opção seria o motor *Kostov K9” SepEx* de 120V/18,3kW;

2. Para eliminar os gastos na manutenção dos motores com escovas, foram analisadas duas propostas para motores Brushless, fornecidos pela empresa 3xE, que vendem o conjunto motor + controlador. Uma hipótese seria motor de 144V/20kW, com um binário de 76Nm, e com velocidade máxima de 6000rpm, a outra hipótese é similar ao anterior difere apenas na potência pois este apenas tem 15kW e 48Nm de binário. Ambas as soluções têm capacidade para realizar travagem regenerativa.

A segunda opção tem um acréscimo no preço, explorado mais à frente no capítulo “Avaliação Económica”.

5.3.2. BATERIAS

As baterias escolhidas para esta conversão, são de Lítio Ferro Fosfato ($LiFePO_4$) da *Winston*. [59] Esta tecnologia de baterias é das mais avançadas do mercado, junta a segurança e durabilidade das baterias de níquel Cádmio (NiCa) com a leveza e capacidade das baterias de Polímero de Lítio (LiPo) e apresenta uma relação qualidade/preço apreciável. Para além do fornecedor *Winston* foram pedidos orçamentos para a mesma tecnologia às empresas *Thunder sky* e *Sinopoly*, contudo optou-se pela *Winston* pois é a empresa que pratica melhor preço. Em Portugal foi pedido um orçamento á Autosil para baterias de lítio, a Autosil não tem a tecnologia de Lítio Ferro Fosfato, mas para além das baterias não serem tão evoluídas tecnologicamente como as da *Winston*, apresentam um custo bem maior. Na tabela 12, estão resumidas as características das baterias utilizadas.

Tabela 12 - Características da bateria da Winston ($LiFePO_4$) [59]

<table>
<tr><th>CAPACIDADE NOMINAL</th><th colspan="2">100 Ah</th></tr>
<tr><td rowspan="2">TENSÃO DE OPERAÇÃO</td><td>Carga</td><td>4,0 V</td></tr>
<tr><td>Descarga</td><td>2,8 V</td></tr>
<tr><td>CORRENTE DE CARGA MÁXIMA</td><td colspan="2">≤ 3C A</td></tr>
<tr><td rowspan="2">CORRENTE DE DESCARGA MÁXIMA</td><td>Constante</td><td>≤ 3C A</td></tr>
<tr><td>Impulso</td><td>≤ 20 C A</td></tr>
<tr><td>CORRENTE DE CARGA MÁXIMA</td><td colspan="2">≤ 3C A</td></tr>
<tr><td>CARGA/ DESCARGA PADRÃO</td><td colspan="2">≤ 0,5 C A</td></tr>
<tr><td rowspan="2">CICLO DE VIDA</td><td>(80DOD%)</td><td>≥ 3000</td></tr>
<tr><td>(70DOD%)</td><td>≥ 5000</td></tr>
<tr><td rowspan="2">TEMPERATURA DE OPERAÇÃO</td><td>Carga</td><td>-45ºC - 85ºC</td></tr>
<tr><td>Descarga</td><td>-45ºC - 85ºC</td></tr>
<tr><td>AUTO-DESCARGA</td><td colspan="2">≤ 3% Mês</td></tr>
<tr><td>PESO</td><td colspan="2">3,5 Kg ± 100g</td></tr>
</table>

Da tabela de características é de destacar que a bateria tem uma longevidade acima da média, pois consegue realizar mais de 5000 ciclos com profundidades de descarga de 70%, e cerca de 3000 com profundidade de descarga de 80%, tem um

valor de auto-descarga muito reduzido, cerca de 3% por mês. As capacidades da bateria vêm classificadas por C, o que é comum para representar parâmetros de baterias e que representa a capacidade da bateria em Ah. Para este caso como a bateria é de 100Ah ela apresenta uma corrente de carga máxima e corrente de descarga máxima (contínuo de 300 A).

As baterias têm 3,2V de tensão nominal e 100Ah de capacidade, como o motor funciona com uma tensão nominal de 144V, precisamos de 45 baterias o que perfaz uma energia de 14,4kWh.

A autonomia do veículo depende de várias fatores e apesar das baterias estarem na origem de uma maior ou menor autonomia, o perfil de condução ou a temperatura ambiente tem um impacto significativo na autonomia. Para se fazer uma previsão da autonomia do veículo e supondo que a condução é pouco agressiva, geralmente atribui-se um consumo de 130Wh/km a esta tipologia de carro. Como as baterias totalmente carregadas têm uma energia de 14,4kWh e o veículo gasta em média 130Wh/km, conclui-se que o veículo terá uma autonomia de cerca de 111km.

Cada bateria tem um peso de 3,4kg, ou seja no total as 45 baterias terão um peso de 153Kg. Este peso foi distribuído entre a frente do veículo e a traseira, e é abordado mais á frente no capítulo “Peças Desenhadas”.

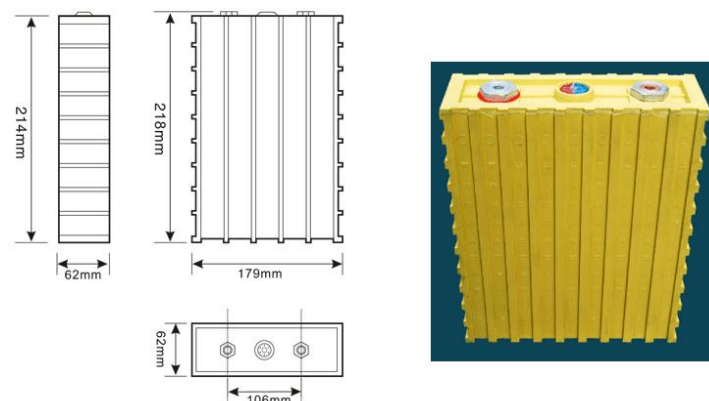



Figura 44 - Bateria *Winston* $LiFePO_4$ [59]

A capacidade de descarga máxima das baterias escolhidas (*Winston* $LiFePO_4$ – 100Ah) é de 3C (300A durante alguns minutos), ou seja têm uma potência instantânea máxima de 37,8kW (3 x 45 x 2,8V x 100Ah) e o motor tem potência nominal de 24kW, podendo chegar aos 50kW (caso as baterias tivessem capacidade para isso). A limitação imposta pela capacidade das baterias, não é relevante porque conseguimos obter o desempenho pretendido para a conversão e, como representado

na figura 45, também garantimos que o motor funciona sempre no seu nível de rendimento máximo.

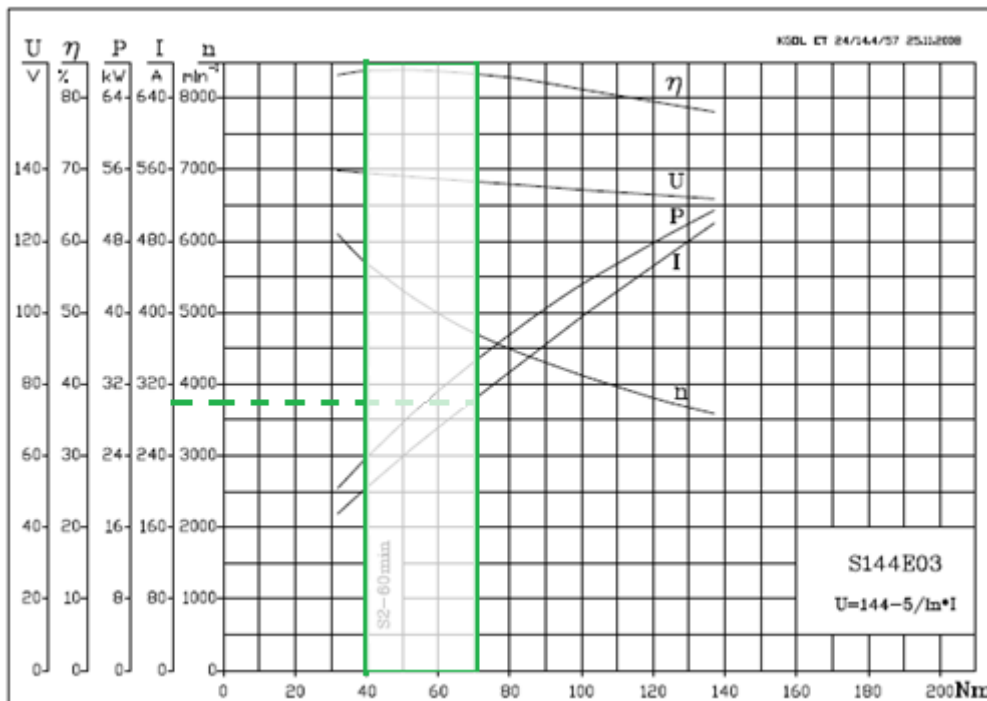



Ilustração 45 - Limitação imposta pelas baterias

Caso se pretenda uma maior autonomia para o veículo podemos optar por baterias com maior capacidade (160Ah ou 200Ah), desta mesma tecnologia. As dimensões destas baterias são um pouco maiores que as usadas de 100Ah, contudo o veículo tem volume disponível. Com as baterias de 160Ah o veículo fica com uma autonomia de cerca de 177km, ou seja mais 66 que a solução escolhida. Com as baterias de 200Ah o veículo fica com autonomia para cerca de 222km, o dobro da solução escolhida. Ambas as opções têm um acréscimo, proporcional à sua capacidade, no custo do equipamento, como será abordado na avaliação económica.

5.3.3. CONTROLADOR

O controlador é um equipamento essencial num veículo elétrico, tem com função fazer a interligação e controlo da energia das baterias e o ME.

O controlador escolhido para esta conversão é o *Soliton Jr* da empresa *evnetics*, de 150 kW, 200HP especialmente construído para aplicação em *EV*'s. Opera entre 9-340 V*DC*, com 600 A de pico e tem como vantagem todos os parâmetros

serem de fácil configuração através de um computador com ligação á internet e porta *ethernet*, é uma excelente solução para veículos com peso inferior a 1200kg.

Figura 46 -Controlador *Soliton Jr* [60]

O controlador representado na figura 46 não tem capacidade para controlar o motor K9'' SepEx (opção 1) pois apenas controla os motores com excitação série e este é de excitação separada. Uma opção para controlar o motor K9'' SepEx seria o PHOENIX modelo T82, com 800A de pico disponibilizado pela *Kostov Motors*. [57]

Para a opção 2 não há necessidade de escolher controlador pois a empresa 3xE disponibiliza o conjunto motor/controlador.

As características do controlador devem, em qualquer conversão, ser generosas e a sua potência tem que ser superior à do motor, caso contrário podem ocorrer avarias prematuras. O controlador utilizado nesta conversão (Soliton Jr – Evnetics), tem mais capacidade que a necessária para esta conversão, apesar de encarecer o investimento, dá segurança á instalação, garantindo que nem a capacidade das baterias nem do motor são subaproveitadas, e caso no futuro se pretenda aumentar o desempenho do veículo, este controlador tem capacidade para isso.

5.3.4. CONVERSOR *DC/DC*

Este equipamento é necessário para alimentar os equipamentos auxiliares do veículo que funcionam com uma tensão de 12V. Carrega diretamente a bateria de 12V através das baterias de tração instaladas a bordo, eliminado assim a necessidade do alternador. Tem como principais vantagens o facto de ser um equipamento compacto e de baixo custo, deve ser instalado num lugar seco, onde não seja possível entrar

água, mas onde circulem correntes de ar, para que o equipamento possa ser refrigerado.

Funciona com tensões entre os 110 - 370 V*DC*, tem uma tensão de saída de 13,8 V e é capaz de fornecer 53 A de corrente máxima.

Figura 47 – Conversor [61]

O veículo original para conversão não possui travagem ABS, nem direção assistida, como tal não precisa de uma bomba de direção hidráulica nem de uma bomba de vácuo. Estes equipamentos, se necessários, são alimentados a 12V o que reforçaria a necessidade deste equipamento.

5.3.5. CARREGADOR DE BATERIAS

O carregador de baterias é o equipamento a bordo responsável por fazer a ligação entre a rede elétrica e o veículo com o objetivo de carregar o pack de baterias. Geralmente a carga das baterias é efetuada em elevadas correntes quando estas estão completamente descarregadas e a baixa corrente quando a bateria está quase carregada. O Carregador escolhido para esta conversão é um *POW* de 144V/ 16A. [62] Como as baterias têm uma capacidade de 100Ah e este equipamento carrega a 16Ah, conclui-se que a carga estará completa ao fim de 6 horas e 15 minutos.

O equipamento será instalado na traseira do veículo junto às baterias e está representado na figura 48.

Figura 48 - Carregador POW [62]

5.3.6. SISTEMA DE GESTÃO DA BATERIA

É importante instalar um sistema de monitorização para fazer a gestão das células, pois estas variam muito a sua tensão durante a carga e descarga. O sistema de gestão faz a gestão das células, controla a tensão, temperatura, estado de carga (*SOC)* ou profundidade de descarga (*DOD)*, "saúde" da bateria (*SOH)* e corrente que entra ou sai da bateria. Com este dispositivo o utilizador está sempre informado do estado das baterias, protegendo-as e aumentando a sua vida útil.

Figura 49 – Sistema de gestão da bateria [63]

5.3.7. OUTROS EQUIPAMENTOS

5.3.7.1. *KIT* PRÉ-ESCALAR DE TENSÃO / INSTRUMENTAÇÃO

É necessário um equipamento para monitorizar alguns parâmetros da bateria, como tensão da bateria, corrente de carga e descarga, Ah consumidos, capacidade restante da bateria e tempo disponível. O equipamento escolhido para fazer esta

monitorização é o *E-xpert Pro* fornecido pela *tbs-electronics* e representado na figura 50. Em Portugal o distribuidor deste equipamento é a Telextrónica. Este equipamento apenas funciona a 12 ou 24V e o sistema do veículo é de 144V, como tal precisa ser instalado com um Kit pré-escalar de tensão para permitir o seu uso.

Estes equipamentos serão instalados no painel de instrumentos do veículo, para uma fácil visualização e interação com o utilizador.

Figura 50 - *E-xpert pro* [64]

5.3.7.2. INTERRUPTOR DE INÉRCIA / BOTÃO DE EMERGÊNCIA

A função do interruptor de inércia é desligar automaticamente o circuito de tração e isolar o pack de baterias em caso de acidente. O interruptor deve ser montado rigidamente na estrutura do veículo e numa orientação vertical, ou seja com a extremidade vermelha para cima. O interruptor de inércia tem uma mola no seu interior que quando sofre um impacto grande esta mola solta-se desliga as baterias do circuito de tração. Será instalado apenas um destes equipamentos na frente do veículo.

O Botão de emergência, tal como o interruptor de inércia, tem como funcionalidade desligar o circuito de tração em caso de emergência, contudo este não dispara automaticamente, tem que ser pressionado para disparar, como tal este equipamento será instalado na cabine, do lado esquerdo do volante, como representado na figura 63, no capítulo peças desenhadas.

Figura 51 - Interruptor de inércia [65]

Figura 52 - Botão de emergência [65]

5.3.7.3. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E COMANDO

FUSÍVEIS

Todos os veículos elétricos têm um fusível no seu circuito de potência para garantir que o veículo se desliga de forma segura caso ocorra uma falha no circuito de tração. Por razões de segurança os fusíveis devem ser instalados o mais próximo possível no terminal positivo de cada pack de baterias. A escolha do fusível tem que ter em consideração a bateria o controlador e o motor, que são os equipamentos essenciais do veículo elétrico. Geralmente recomendam que o fusível tenha quatro vezes a capacidade das baterias, ou seja, como nesta conversão as baterias são de 100Ah de capacidade, o fusível terá de ser de 400A.

CONTACTORES

O contactor é essencial, pois funciona como um interruptor que liga o circuito quando se dá à chave do veículo, ou seja liga e desliga a conexão entre as baterias e o controlador do motor. Existem vários contactores disponíveis no mercado, que diferem essencialmente na corrente de corte, o escolhido para esta conversão é o Nanfeng ZJW que tem uma corrente máxima de corte de 1000A, disponibilizado pela *EVSource*. [66]

Para aumentar o tempo de serviço do contactor e para *ev*itar estragos inusitados nele próprio e nos equipamentos associados, podemos adicionar resistências de pré-carregamento, e díodos de supressão de pico.

Os controladores têm bancos de condensadores para manipular a ondulação da corrente, ou seja para regular o fluxo de energia proveniente das baterias que têm resistência muito baixa. Se as baterias forem ligadas subitamente ao controlador, irá provocar um pico de corrente no controlador enquanto este carrega os condensadores

internos, este pico pode ser superior a 1000A e pode causar problemas tanto às baterias como ao contactor.

A solução mais fácil é instalar uma resistência de pré-carga no contactor, o que permitirá que uma pequena corrente flua para o controlador enquanto o contactor está fora, suficiente para carregar lentamente os condensadores, mas não suficiente para deixar que o carro se desloque. Geralmente estas resistências variam na ordem de 75-100ohms.

Outro problema reside no facto dos contactores terem uma bobine para fechar os contactos com que esta é alimentada. A bobine é uma carga indutiva, não se consegue inverter o sentido da corrente instantaneamente, ou seja se a alimentação da bobine for removida instantaneamente, a bobine gera um pico de tensão no esforço de manter o fluxo da corrente, enquanto o seu campo magnético está a decrescer. Este pico de tensão pode ser superior aos 12V necessários para acionar a bobine o que pode provocar danos.

Para *ev*itar este problema, podemos adicionar 2 díodos de Zener nas conexões da bobine, ligados "costas-com-costas", e assim podem circular os picos de tensão, *ev*itando que estes se propaguem para os dispositivos externos.

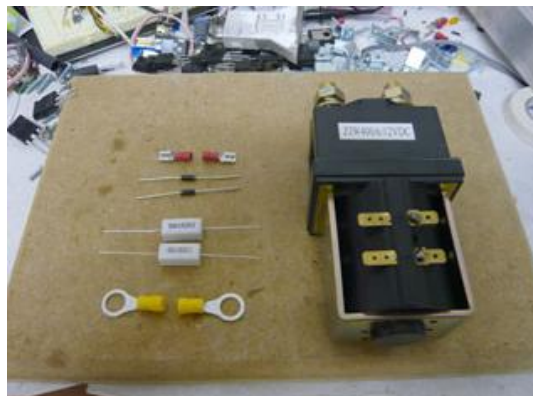



Figura 53 - Contactor, resistência de pré carregamento e díodos de Zener [66]

5.4. EQUIPAMENTOS IMPORTADOS

A grande maioria dos equipamentos usados na conversão são importados, é necessário ter algum cuidado prévio, no controlo de alguns requisitos para *ev*itar problemas na alfândega.

A base legal está referida na pauta de serviço do Ministério das Finanças – Autoridade Tributária e Aduaneira. É importante ter alguns aspetos em consideração, como o facto de ser obrigatório as baterias terem o símbolo de recolha separada de resíduos, representado na figura 54, caso contrário não é permitido o seu desalfandegamento.

Figura 54 - Símbolo de recolha separada de resíduos [67]

Na alfândega podem também exigir que o consumidor passe uma declaração em como as células das baterias não têm tensão superior a 50V, referido na pauta de serviço – 87.

O carregador das baterias tem de estar certificado pela Diretiva Europeia 2006/95/CE e ter a marcação CE. Convém pedir o certificado ao fornecedor do equipamento.

A BMS, como se trata de um equipamento composto por várias partes, pode gerar confusão na alfândega, e dificultar o desalfandegamento. Caso se pretenda importar o equipamento para fins comerciais é necessário estar inscrito numa entidade como a ECOPILHAS – Sociedade de Gestão e Recolha de Resíduos de Pilhas e acumuladores, no caso de um consumidor final, não é necessária essa inscrição como referido no circular nº 101/2009, série II de 28 de Setembro.

5.5. PEÇAS DESENHADAS

Para realizar o projeto da conversão, utilizou-se o software disponibilizado pela Google, o SketchUp 8. Este Software permite modelar e fazer construções em 3D, e é ideal para fazer este tipo de projetos.

O projeto de Conversão do Golf 2 segue em anexo, em formato digital, com o nome “Conversão”.

Nas figuras seguintes apresenta-se o veículo depois de retirados os equipamentos desnecessários, ou seja motor térmico, sistema de refrigeração do motor, escape e depósito de combustível.

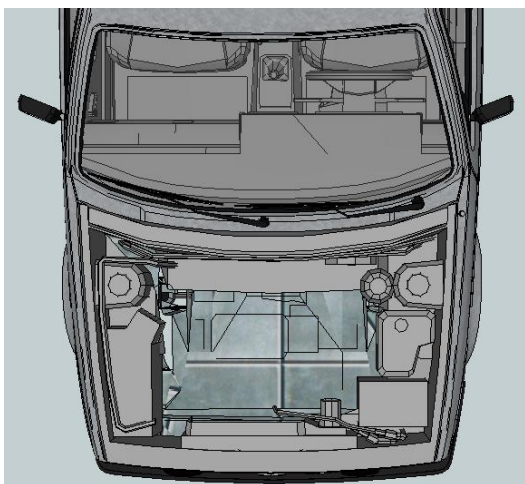



Figura 55 - Frente do veículo depois de retirado o motor térmico e o radiador

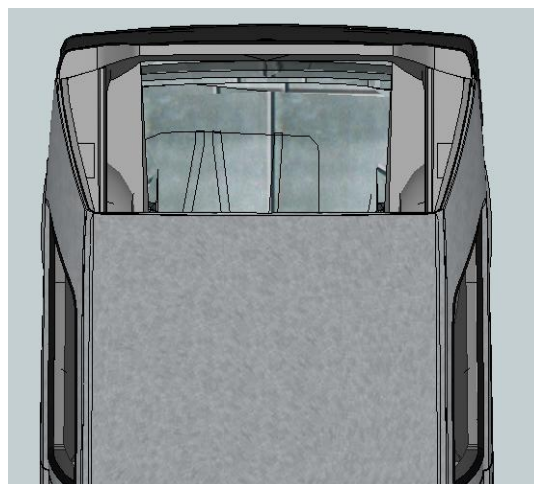



Figura 56 - Traseira depois de retirado o depósito de combustível

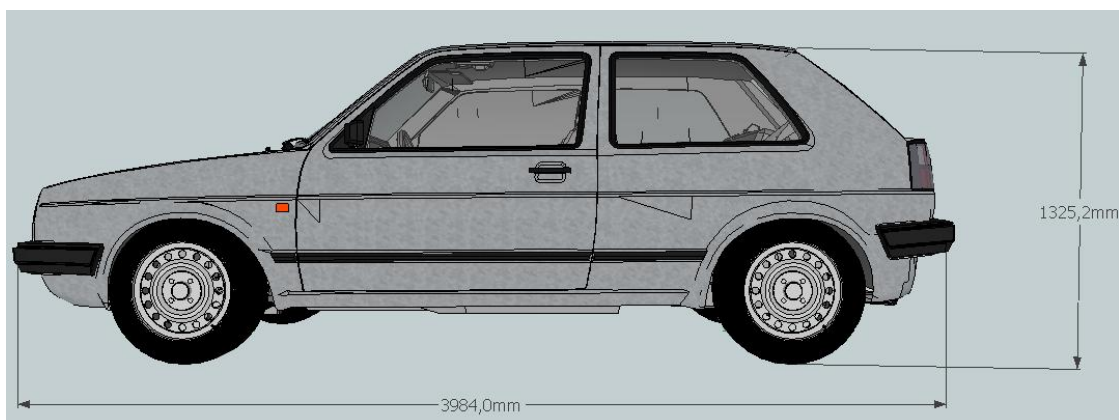



Figura 57 - Veículo em vista later

Para tornar mais fácil a compreensão da distribuição dos equipamentos no veículo, retirou-se toda a cobertura do carro, como representado na Figura 58.

Para *ev*itar problemas na fase de homologação é muito importante ter atenção à distribuição dos equipamentos no veículo e ter o cuidado de não deslocar muito o centro de massa do veículo. Convém manter o peso original na frente do veículo, se possível aumentar um pouco, e o restante transferi-lo para a traseira, assim *ev*ita-se grandes deslocações do centro de massa do veículo e garante-se que as características de travagem e suspensão continuam eficazes.

Figura 58 - VW Golf sem cobertura

Os equipamentos a retirar do veículo original e os que terão que ser colocados com peso significativo estão presentes nas tabelas 13 e 14. Dos equipamentos a retirar o de maior complexidade é o motor térmico, devido ao seu peso e tamanho. O tanque de combustível depois de retirado, liberta algum espaço que pode ser útil para colocar as baterias. No caso desta conversão esse espaço não é necessário, pois a maioria das baterias será instalado na frente do veículo (30 baterias) e as restantes na traseira (15 baterias). Com esta distribuição de baterias consegue-se manter o veículo equilibrado. Na frente do veículo o peso mantém-se praticamente igual, e a traseira tem um acréscimo de peso de aproximadamente 42kg, o que não é muito significantivo.

Tabela 13 - Equipamentos a retirar do veículo

EQUIPAMENTOS A RETIRAR	PESO (kg)
MOTOR TÉRMICO	160
TANQUE DE COMBUSTÍVEL E CONDUTAS	25
RADIADOR E SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	20
ESTRUTURA DE EXAUSTÃO	15
TOTAL	**220**

Tabela 14 - Equipamentos a colocar no veículo

EQUIPAMENTOS A COLOCAR				
FRENTE	**PESO (kg)**		**TRASEIRA**	**PESO (kg)**
ME	45		**BATERIAS**	51
BATERIAS	102		**CARREGADOR**	14
CONTROLADOR	10		**ESTRUTURA DE SUPORTE**	10
ESTRUTURA DE SUPORTE	20			
TOTAL	**177**		**TOTAL**	**75**

Através da análise das tabelas anteriores, conclui-se que o veículo aumentará o seu peso bruto, originalmente tinha 865kg e depois de realizada a conversão terá cerca de 897kg. O aumento de peso é reduzido, principalmente devido à tecnologia de baterias utilizado, que têm um peso unitário de 3,4kg e têm pouco volume o que facilita a sua distribuição no veículo.

Na figura 59, está representada a frente do veículo, depois de instalados os equipamentos necessários. Na parte inferior é instalado o ME e ligado à transmissão original através da placa adaptadora, que não é visível na imagem. Na parte superior está a bateria de 12V de chumbo-ácido para alimentar os equipamentos elétricos auxiliares do veículo, ao centro o controlador e do lado direito o conversor CC/CC. A amarelo o pack frontal de baterias, composto por 30 unidades e instaladas numa estrutura de suporte, num lugar ventilado onde não permita a acumulação de gases de acordo com o regulamento nº100 da UNECE.

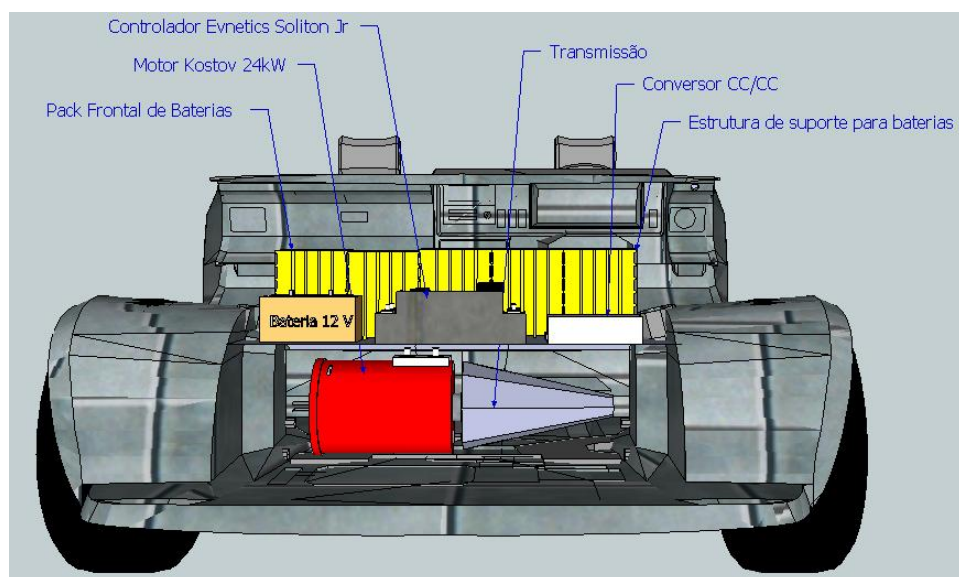



Figura 59 - Vista Frontal do veículo

Na figura 60 está representada a traseira do veículo, com os equipamentos constituintes. Tal como a instalação na parte frontal, o pack de baterias na traseira (15 unidades) está instalado numa estrutura de suporte e adequadamente ventilado.

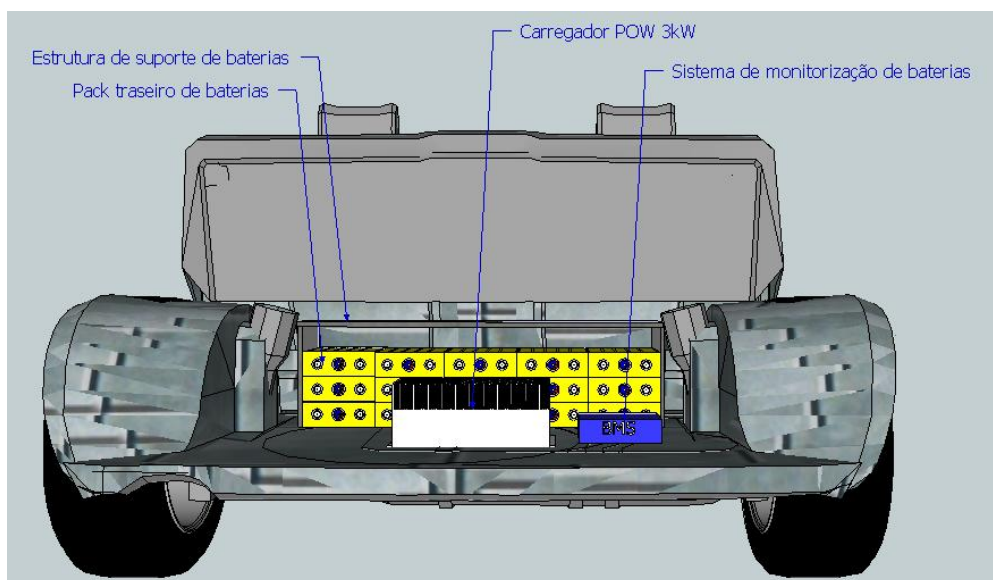



Figura 60 - Vista retaguarda do veículo

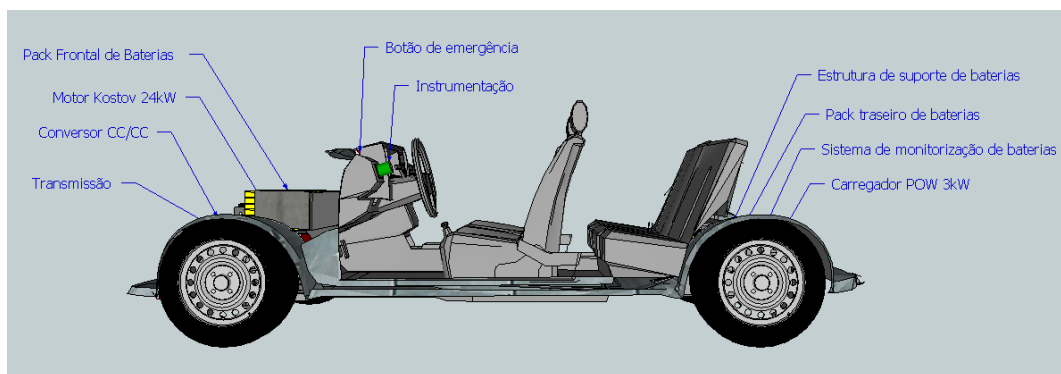



Figura 61 - Vista lateral do veículo

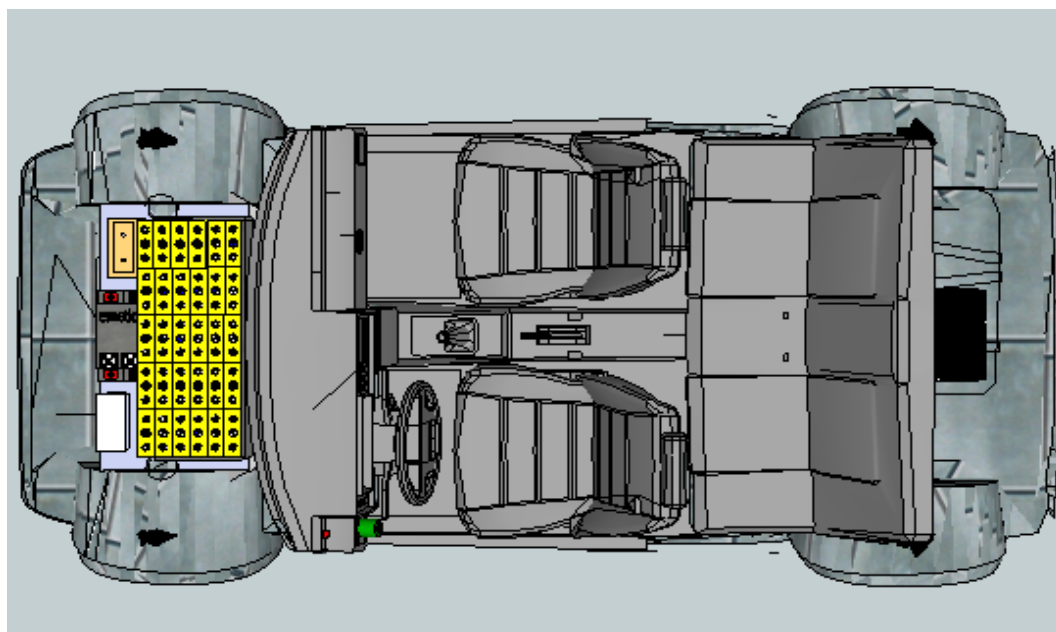



Figura 62 - Vista de topo do veículo

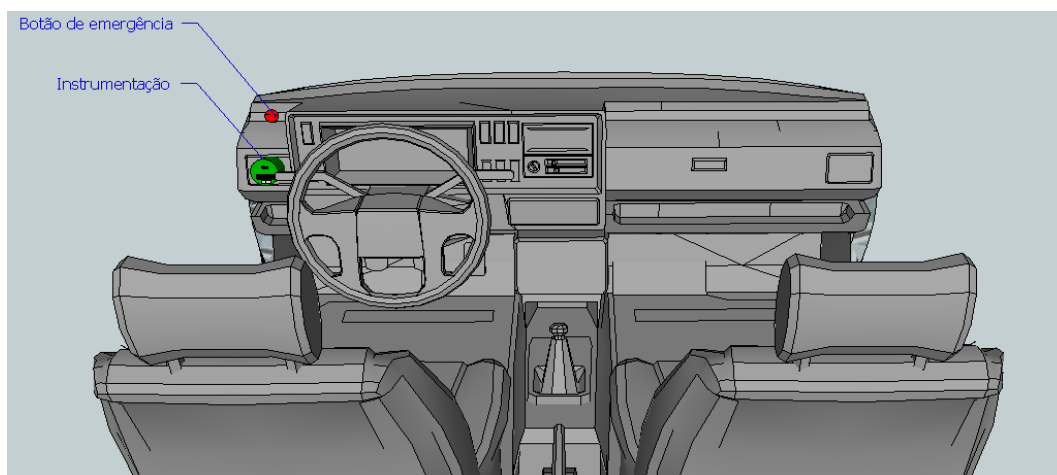



Figura 63 - Vista interior do veículo

Na figura 63 estão representados dois equipamentos que serão instalados no habitáculo do condutor. O botão de emergência, obrigatório pelo Regulamento nº100 da UNECE que indica que é necessário um equipamento capaz de efetuar o corte do circuito de tração em caso de emergência, sem sair do habitáculo; e o visor de sinalização que serve para visualizar a carga das baterias, autonomia e tempo de condução, entre outros parâmetros do Pack de baterias. Ambos os equipamentos são obrigatórios pelo regulamento nº100 da UNECE.

O interruptor de inércia e as ligações entre os equipamentos não aparecem representadas nas figuras para simplificar a visualização da distribuição dos equipamentos. O esquema unifilar da instalação elétrica está representado de seguida (5.6.1. Esquema Unifilar). De referir também que o interruptor de inércia não é um equipamento obrigatório, contudo o seu custo reduzido e vantagem que pode trazer em caso de acidente justifica a sua utilização.

A secção do cabo a utilizar no circuito de tração foi calculada recorrendo a uma folha de cálculo disponibilizada pela *Pirelli*. Nesta folha de cálculo é indicado o tipo de aplicação a que vai ser sujeito o cabo, modo de instalação e características da alimentação. O resumo dos resultados está representado na figura 64 e a folha com a indicação de todos os parâmetros segue no Anexo A – Equipamentos.

RESULTADOS	
Intensidad efectiva	256.9 A.
Potencia aparente	46.2 kVA.
Potencia activa	37.0 kW.
Sección por calentamiento	95 mm^2
Secc. por intens. cortocto.	4 mm^2
Secc. por caída de tensión	95 mm^2
Secc. técnica recomen.	**95 mm^2**
Resistencia cable a t. máx.	0.245 ohm./Km.
Reactancia	0.096 ohm./Km.
Caída de tensión	1.3 V.
Temperatura efectiva cond.	67.9 °C.

Figura 64 - Características de cabo a utilizar

Um requisito fundamental para o cabo a ser utilizado é que este seja flexível, e assim sendo o cabo escolhido é o RETENAX FLEX, denominado RV-K. A designação do cabo significa que tem Isolamento em borracha (R), bainha em Policloreto de Vinilo (V) e condutor de cabo flexível para instalação fixa (K), segundo o documento harmonizado pelo Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC) HD-361. A designação final do cabo que liga todo o circuito de tração (Baterias – Controlador – Motor) será o RV - K 1 x 95mm^2.

Em contacto com a *EV Works Pty Ltd* [65], eles garantiram que o cabo de 50 mm^2 era suficiente pois aguenta 185A em contínuo e em condições normais a corrente será bem inferior a este valor, nesta conversão, contudo por precaução optou-se pelo cabo indicado pela simulação.

Os equipamentos restantes (carregador; BMS; Conversor *DC*/*DC*) vêm equipados com os cabos para efetuar as ligações necessárias ao circuito. Será necessário um fio de conexão entre o Conversor *DC*/*DC* a bateria auxiliar e restantes equipamentos que vão ligar ao contactor, esse fio será H07V - R 1 x1,5 mm^2.

As ligações estão representadas no esquema unifilar que se segue.

5.5.1. ESQUEMA UNIFILAR

Pack de baterias da traseira

Pack de baterias da frente

Controlador

Contactor

Fusível

Fusível

F

1A

evnetics

S2

A1

Shunt

Motor

Visor

KPT

S1

A2

Carregador

AC imput

Fusível

Int. de Inércia

B. Emergência

Bateria auxiliar de 12 V

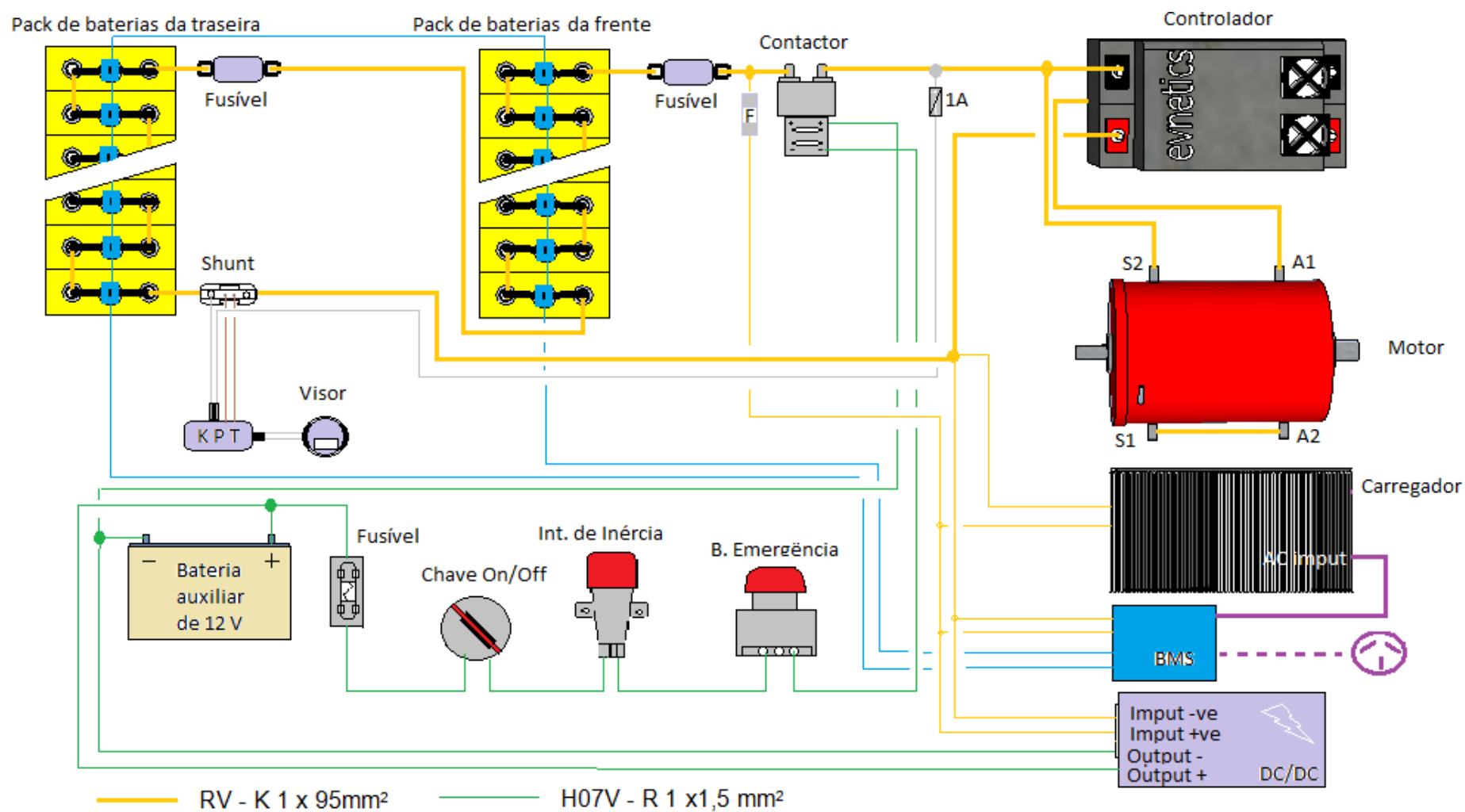
Chave On/Off

BMS

Imput -ve
Imput +ve
Output -
Output +

DC/DC

RV - K 1 x 95mm2

H07V - R 1 x1,5 mm2

5.6. AVALIAÇÃO

5.6.1. ECONÓMICA

Para realizar esta avaliação económica foram necessários alguns pressupostos:

- Preço do combustível (€/litro) : 1.67 (Galp – 05 de Junho de 2012)
- Preço da eletricidade:
  - Tarifa simples : 0.1393 (€/kWh)
  - Tarifa Bi-horária – Vazio: 0.0833(€/kWh)
- Consumo médio de combustível: 8 (litros/100km):
- Consumo médio de energia: 130 (Wh/km)
- Distância média percorrida diariamente: 60 (km)

Tabela 15- Investimento

	MODELO	PREÇO (€)
MOTOR	Kostov K9 Motor	992,37
BATERIA	LiFePO4 - WB-LYP100AHA LiFeYPO4	4122,45
CONTROLADOR	Evnetics Soliton Jr	1599,24
CONTACTOR	Nanfeng ZJW	54,80
BOMBA DE VÁCUO	BSC	296,85
CONVERSOR DC/DC	DC-DC converter	159,45
BOMBA DE DIRECÇÃO HIDRÁULICA	EPS Pump Kit	701,44
CARREGADOR DE BATERIAS	TCCH-H175.2-16	654,96
INSTRUMENTAÇÃO	E - Xpert pro	180,25
OUTROS COMPONENTES		
	Kit pré-escalar de Tensão	62,30
	Interruptor de inércia	18,00
	Fusível para bateria	54,08
	Cabo/Terminais/Ligadores	200,00
	Placa adaptadora	670,90
	BMS	1548,85

AUTONOMIA (Km)	111
TOTAL	10.317,65 €

Peso das baterias (Kg)	153
Volume para baterias (m3)	0,097614
Durabilidade das baterias (Anos)	8

O investimento total para esta conversão é de **10.317€**, como descrição na tabela 15. Neste custo não foram considerados despesas com portes de envio dos equipamentos nem mão-de-obra. Apesar do investimento total da conversão ser um pouco elevado, ficou dentro do pré-estabelecido no início da conversão e é fácil constatar que a amortização de investimento é rápida, devido à grande diferença entre os custos de operação *EV* e do *ICEV*.

A bomba de vácuo é um equipamento essencial para a travagem ABS, e a bomba de direção hidráulica fundamental para a direção assistida, contudo como o VW Golf não tem travagem ABS nem direção assistida dispensa estes dois equipamentos (assinalados a vermelho na tabela 15). O veículo tem espaço e infraestrutura disponível, para se instalar estes equipamentos se assim se desejar. O investimento adicional só pela aquisição dos equipamentos, fora mão-de-obra e alterações necessárias no sistema de travagem, ronda os 1000€.

$$\begin{aligned}&\boldsymbol{Custo\ anual\ do\ veículo\ convencional}\\&= \boldsymbol{distância\ média\ percorrida\ diariamente} \times \boldsymbol{365\ dias}\\&\times \boldsymbol{consumo\ médio\ de\ combustível} \times \boldsymbol{preço\ do\ cmbustível}\\&= \boldsymbol{2925.8€/ano}\end{aligned}$$

Expressão 8

$$\begin{aligned}&\boldsymbol{Custo\ anual\ do\ veículo\ elétrico}\\&= \boldsymbol{distância\ média\ percorrida\ diariamente} \times \boldsymbol{365\ dias}\\&\times \boldsymbol{consumo\ médio\ de\ energia}\\&\times \boldsymbol{preço\ da\ eletricidade}\end{aligned}$$

Expressão 9

Se o consumidor tiver um contrato de eletricidade com a tarifa simples, o custo dos 60km percorridos diariamente é de **396,6€/ano**, caso tenha um contracto com uma tarifa bi-horária, e carregar o veículo nas horas de vazio é de **237,2€/ano,** ou seja com esta conversão, na solução mais vantajosa consigo poupar **2688€/ ano.**

Pode-se também concluir que o custo de uma carga completa do veículo varia entre 1,20 – 2,01€ (Energia da bateria (kWh) x €/kWh), e com esta carga o veículo fica com autonomia para 100km, ou seja **1,20 – 2,01 €/100km**, o que é um

valor bem mais apreciável que os **13,36€/100km** (média de consumo (litros/100) x €/litro) gastos pelo veículo antes da conversão.

Pela análise da tabela 16, constata-se que um utilizador que tenha um contracto de eletricidade com uma tarifa bi-horária e carregar as baterias no período de vazio, no final de 4 anos para além de já ter o investimento amortizado tem um lucro de 437,1€. No caso do utilizador com contracto de eletricidade com tarifa simples no 5º ano amortiza o investimento.

Em todos os cálculos que se entram com as despesas de eletricidade foram desprezados os custos de aluguer do contador de eletricidade.

Tabela 16 - Amortização do investimento

	1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano	6º Ano	7º Ano	8º Ano	9º Ano	10º Ano
Combustível (Gasolina)	2925,8	2925,8	2925,8	2925,8	2925,8	2925,8	2925,8	2925,8	2925,8	2925,8
Tarifa simples	396,6	396,6	396,6	396,6	396,6	396,6	396,6	396,6	396,6	396,6
Tarifa Bi-Horária (Vazio)	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2	237,2
TROCAR BATERIAS								4122,45		
Poupança T. Simples	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**	**2529,3**
Poupança T. Bi-horária	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**	**2688,7**

RETORNO DO INVESTIMENTO										
POUPANÇA ACOMULADA EM T. SIMPLES	-7788,4	-5259,1	-2729,9	-200,6	2328,6	4857,9	7387,1	5793,9	8323,2	10852,4
POUPANÇA ACOMULADA EM T. BI-HORÁRIA	-7629,0	-4940,3	-2251,6	437,1	3125,8	5814,5	8503,1	7069,4	9758,1	12446,7

As baterias utilizadas na conversão têm uma longevidade de 3000 ciclos. Considerando que as baterias são carregadas todos os dias, conclui-se que ao fim de 8 anos as baterias devem ser trocadas (3000/365= 8,2 anos). Repetindo o pack de baterias original e pressupondo que estas se encontram ao mesmo preço, o que bastante improvável como representado na figura 15 no capítulo das baterias, haverá um custo de 4122,45€, contudo no final de 10 anos o utilizador poupou **10.852€** (no caso de tarifa simples) face à utilização do *ICEV* original a gasolina.

Não foram contabilizadas despesas com a manutenção dos motores, por serem valores pouco significativos. O MCI necessita de muita manutenção, enquanto que no ME a manutenção é muito reduzida e neste caso em particular a manutenção resume-se à troca de escovas quando necessário.

São apresentados, no Anexo A - Equipamentos, vários motores passíveis de serem utilizados numa conversão. Estes motores são originais de dois fornecedores *Kostov* e Netgain. Estes fornecedores quando questionados sobre a longevidade das escovas dos seus motores, ambos referiram que as escovas duram no mínimo 1000

horas de uso, ou seja pressupondo que o veículo faz deslocações a uma velocidade média de 50km/hora, um único conjunto de escovas aguenta 50000Km, se fizermos 60km/ dia, um único conjunto de escovas tem a longevidade de aproximadamente 2 anos e 3 meses. A *Kostov* vende um conjunto de escovas por 47€, enquanto que a Netgain vende um pack de 8 escovas por 153€, ou seja os custos de manutenção das escovas não são significativos o que a um nível económico ainda sustenta mais o uso dos motores *DC* com escovas.

Na figura 65, é visível a rapidez de amortização do investimento e a diferença entre a poupança acumulada de um utilizador com tarifa simples e um utilizador com tarifa bi-horária.

Figura 65- Retorno de investimento

Num prazo de 10 anos, esta conversão só é inviável se o utilizador percorrer menos que 24km/dia. Nesse caso não será necessário trocar o pack de baterias num prazo de 10 anos, e mesmo assim no final desse prazo o utilizador com contrato de eletricidade na tarifa bi-horária apenas poupou **437,1€**, como representado na tabela 17.

Tabela 17 - Investimento inviável num prazo de 10 anos

	1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano	6º Ano	7º Ano	8º Ano	9º Ano	10º Ano
Combustível (Gasolina)	1170,3	1170,3	1170,3	1170,3	1170,3	1170,3	1170,3	1170,3	1170,3	1170,3
Tarifa simples	158,6	158,6	158,6	158,6	158,6	158,6	158,6	158,6	158,6	158,6
Tarifa Bi-Horária (Vazio)	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9
TROCAR BATERIAS										
Poupança T. Simples	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**	**1011,7**
Poupança T. Bi-horária	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**	**1075,5**

RETORNO DO INVESTIMENTO										
POUPANÇA ACOMULADA EM T. SIMPLES	-9305,9	-8294,2	-7282,5	-6270,8	-5259,1	-4247,4	-3235,7	-2224,0	-1212,3	-200,6
POUPANÇA ACOMULADA EM T. BI-HORÁRIA	-9242,2	-8166,7	-7091,2	-6015,8	-4940,3	-3864,8	-2789,3	-1713,9	-638,4	437,1

Ao longo da apresentação dos equipamentos escolhidos para a conversão foram apresentados alguns equipamentos alternativos aos escolhidos para esta conversão, nomeadamente motor e baterias. De seguida faz-se a análise económica às opções mencionadas.

5.6.1.1. MOTORES OPCIONAIS

A opção 1, o *motor Kostov K9'' SepEx* de 120V/18,3kW foi uma das opções mencionadas para o caso de se pretender dotar o veículo de travagem regenerativa. O custo deste motor é exatamente igual ao da solução adotada, ou seja **992.37€**.

O motor *Kostov K9'' SepEx* tem capacidade de recuperar energia nas travagens, contudo este motor funciona a 120V e tem menor potência que o escolhido, ou seja tem pior desempenho. Para fornecer essa tensão são necessárias apenas 37 baterias da *Winston* de 100Ah, o que perfazia uma energia total de 11,8kwh. Dividindo este valor pela média de consumo do veículo (130Wh), conclui-se que o veículo ficaria apenas com 91km de autonomia, ou seja abaixo do pretendido para esta conversão. Por outro lado para esta conversão em concreto a travagem regenerativa é pouco importante, devido ao percurso que o veículo terá, sujeito a estradas maioritariamente sem grandes descidas, deslocações citadinas e baixas velocidades, ou seja neste cenário a travagem regenerativa é pouco significante e serviria apenas para auxiliar a travagem do veículo, provocando menor desgaste nos travões.

A opção pelo motor *Kostov K9'' SepEx*, provocaria a alteração do controlador, e o controlador escolhido seria o *PHOENIX* modelo T82, com 800A de pico disponibilizado pela *Kostov Motors*. Não foi possível encontrar o preço exato deste controlador, contudo em comparação com outros modelos deve rondar **1200€**.

Resumindo com a alteração de motor + controlador, para os mencionados anteriormente e redução do número de baterias teríamos menos **1132€** de investimento, contudo a alteração reduziria o desempenho do veículo.

A opção 2, o motor *brushless* para além de ter capacidade para realizar travagem regenerativa, ainda elimina os custos de manutenção presentes no motor com escovas.

A empresa que deu o orçamento vende o motor já equipado com o controlador, e a solução mais barata fica por **4173,28€**. Na solução adotada o motor + controlador tem um custo de **2591,60€**, ou seja haveria um acréscimo de **1581,68€**.

Os motores *brushless* são mais eficientes, ou seja para a mesma potência de entrada, o motor *brushless* converte mais energia elétrica em mecânica que os motores com escovas, contudo esta diferença é significativa em regimes de baixa carga ou vazio, em cargas elevadas os motores com escovas e os *brushless* são muito similares, ou seja para aplicação automóvel este aumento de eficiência não é relevante. [68] Para além da característica mencionada o motor *brushless* é mais fiável, não tem custos de manutenção e tem maior vida útil, contudo para realizar uma conversão, onde o custo da conversão é um aspeto muito importante, estas vantagens não justificam a adoção do motor *brushless*.

5.6.1.2. BATERIAS OPCIONAIS

A escolha das baterias, foi feita tendo em consideração a autonomia que se pretende para o veículo, e assim sendo as baterias da *Winston* com capacidade de 100Ah, são suficientes. Como opções foram referidas as baterias de capacidades 160Ah e 200Ah também da *Winston* e da mesma tecnologia ($LiFePO_4$). Estas baterias como já referido acrescentam autonomia ao veículo e como é óbvio o preço é proporcional ao aumento de autonomia. O pack de 45 baterias de 160Ah da *Winston* é de 6596€ (177km de autonomia), e o pack de 45 baterias de 200Ah da *Winston* é de 8244€ (222 km de autonomia). Resumindo estas opções requerem maior investimento, caso se necessite de maior autonomia justifica-se a sua adoção.

5.6.2. TÉCNICA

Com esta conversão, pretendia-se que o veículo ficasse dotado de algumas características, nomeadamente velocidade máxima de 100km/h, autonomia para 100km e capacidade para realizar algumas acelerações repentinas.

As características dos equipamentos utilizados nesta conversão foram colocadas num simulador, disponibilizado por uma pessoa que converteu um veículo por conta própria, que permite certificar que os objetivos foram atingidos. A folha inicial segue no Anexo A – Equipamentos e o simulador segue um formato digital.

Com a análise da figura 66, percebe-se que o veículo tem uma autonomia de cerca de 102,7km e velocidade máxima na ordem dos 119km/h. A autonomia máxima é atingida caso se circule a uma velocidade média de 40 km/h, à velocidade máxima a autonomia desce para 42,6km. A linha que relaciona a autonomia com a velocidade é de várias cores, cada cor indica a velocidade em que o veículo deve estar engatado para melhor eficiência e eficácia do motor (Azul – 1º Velocidade; Vermelho – 2º Velocidade; Amarelo – 3º Velocidade; verde – 4º Velocidade). O gráfico da autonomia tem esta curva, porque apesar de anteriormente se ter considerado que o consumo médio de um automóvel desta tipologia ser de 130Wh/km, este consumo varia consoante diversos fatores já referidos, como temperatura envolvente, perfil de condução, velocidade, arrasto aerodinâmico e resistência de rolamento. Neste caso o consumo varia entre 239,8 Wh/km (autonomia mínima) e 112,2 Wh/km (autonomia máxima). É de destacar que depois dos 70km/h o consumo começa a crescer exponencialmente, que á velocidade de 120km/h é de 270,5Wh/km.

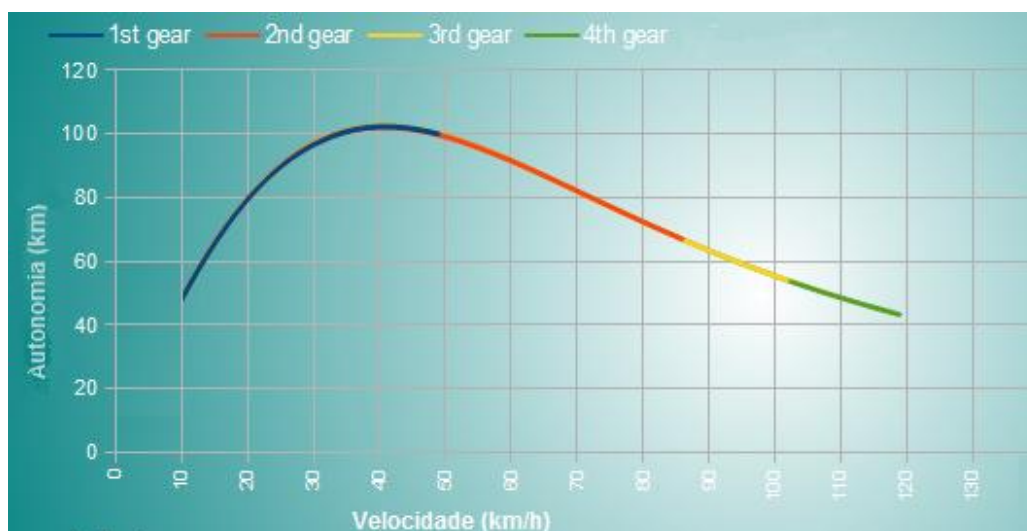



Figura 66 - Desempenho do veículo

Apesar do ME não precisar de caixa de velocidades, nesta conversão a caixa mantem-se porque o motor tem diferentes desempenhos em cada velocidade. As 4 velocidades originais do veículo, apresentam a seguinte relação de transmissão:

- 1ª Velocidade – 3,455
- 2ª Velocidade – 1,944
- 3ª Velocidade – 1,286
- 4ª Velocidade – 0,909
- Relação final – 3,36

A diferença é que o veículo não precisa de embraiagem. O veículo convencional necessita de uma embraiagem porque o motor a combustível em funcionamento nunca está a 0 rpm, e como tal é preciso a embraiagem para desacoplar o eixo do motor do eixo do veículo, quando se pretende trocar de velocidade. Com o ME basta o utilizador tirar o pé do acelerador que o ME está nas 0rpm, e pode-se trocar de velocidade normalmente com o veículo em andamento. Este processo demora cerca de 1 segundo.

Na figura 67, está representado o desempenho de cada velocidade do veículo. Como é visível a 1ª velocidade limita a velocidade máxima do veículo a 50km/h, contudo apenas demora cerca de 10 segundos a atingir essa velocidade, ao contrário da 4ª velocidade que permite uma velocidade máxima de 120km/h mas demora cerca de 20 segundos para atingir os 50km/h. O ideal é adequar a velocidade da caixa, ao percurso e ao desempenho pretendido. Percebe-se que para deslocações citadinas a 2ª velocidade é suficiente, pois consegue-se uma aceleração muito próxima da 1º velocidade e velocidade máxima de 85km/h.

A 1º velocidade só será necessária, em subidas bastentes acentuadas, em percursos planos e a 2º velocidade tem um desempenho bastante parecido com a 1ª velocidade.

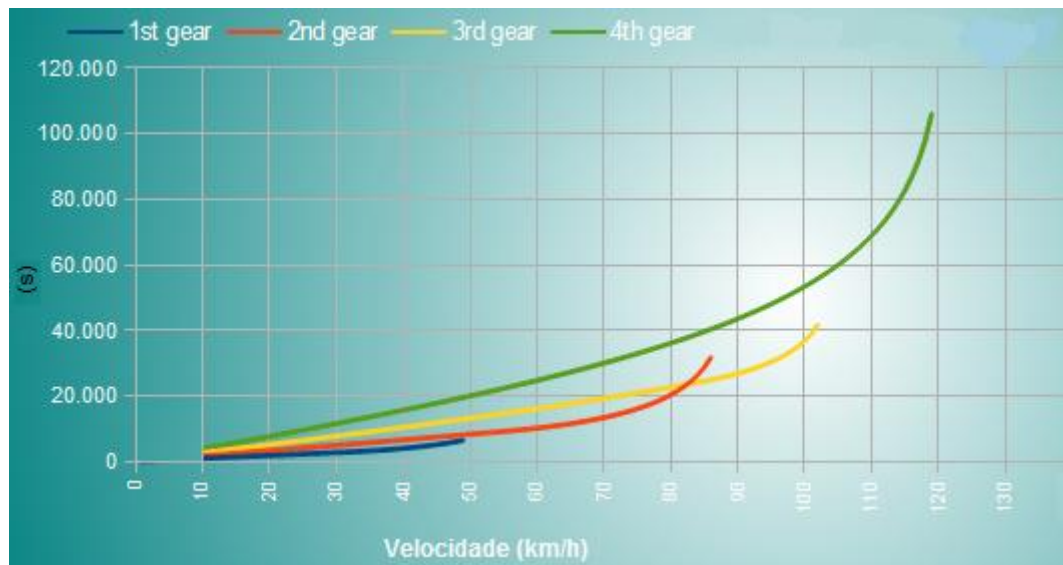



Figura 67 - Desempenho de cada velocidade

Na figura 68, está representado o desempenho do veículo numa súbida com 5 graus de inclinação, e como é visivel a autonomia máxima do veículo decresce para os 38km (consumo de 303,3Wh/km) e velocidade máxima de 85km/h. É *ev*idedente que em súbidas o esforço do motor é maior, logo tem maior consumo de energia, 430Wh/km á velocidade de 10km/h.

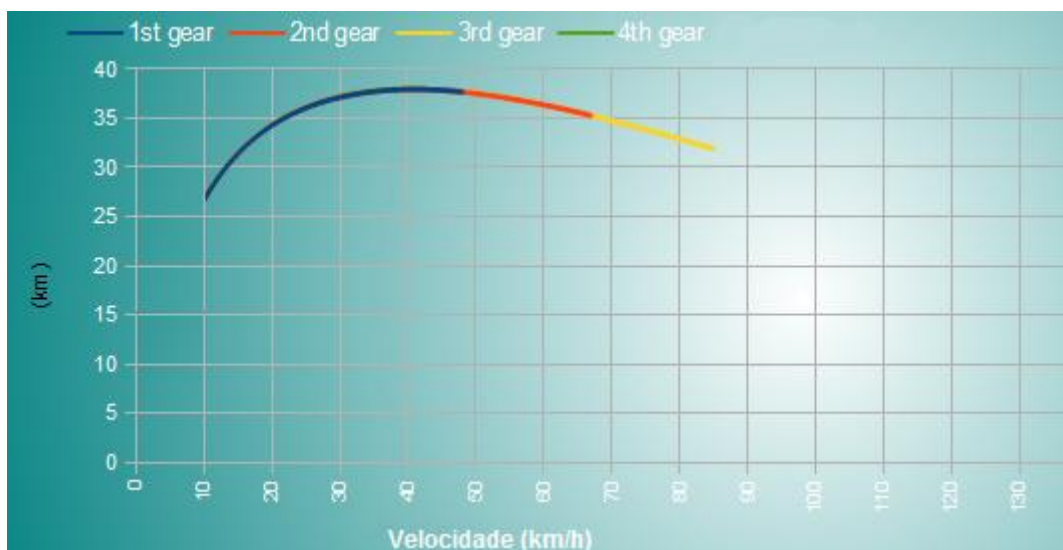



Figura 68 - Desempenho do veículo numa de subida de 5 graus

A velocidade do veículo está diretamente relacionada com a potência debitada pelo motor, que por sua vez está diretamente relacionada com a autonomia do veículo. Na figura 69 está representada a *ev*olução da potência fornecida pelo

motor com a velocidade do veículo e na figura 70 estão representados os valores de potência e binário nominais (traço contínuo) e de pico (traço descontínuo), sendo que os valores de pico do motor estão limitados pela capacidade de descarga máxima das baterias utilizadas, que como já analisado é de 300A.

Figura 69 - Relação da Potência fornecida pelo motor com a velocidade do veículo

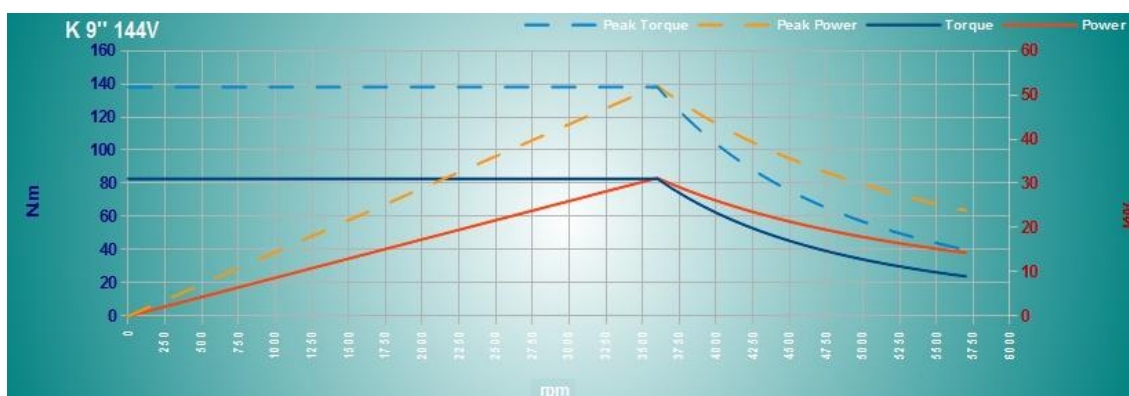



Figura 70 - Características do motor

Com a análise técnica podemos concluir que os requisitos da conversão foram cumpridos, e que os equipamentos escolhidos estão de acordo com os requisitos do sistema, nomeadamente autonomia, velocidade e capacidade de aceleração.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Os objetivos deste trabalho foram cumpridos. Explorou-se o *EV*, perceberam-se as suas configurações e principais características, analisou-se o parque automóvel Português e a incidência do *EV* e realizou-se a conversão de um veículo, onde foi possível compreender e caracterizar todos os passos de uma conversão, tipos de equipamentos a utilizar e a sua distribuição no veículo.

Como analisado ao longo do trabalho existe uma vasto número de possibilidades de equipamentos a utilizar, e cabe a cada utilizador escolher os equipamentos que melhor se adequam e que dão melhor resposta aos objetivos da conversão e ao desempenho pretendido. O critério mais relevante na escolha dos equipamentos escolhidos para a conversão do *Volkswagen Golf* 2, foi o de desempenho/preço.

A seleção dos equipamentos foi devidamente fundamentada ao longo do trabalho, contudo é de referir que na escolha dos equipamentos mais importantes (Baterias / controlador / Motor) convém ter especial cuidado, pois para além destes três equipamentos serem o “coração” da conversão e representarem cerca de 65% do valor do investimento, convém que estes estejam corretamente dimensionados para funcionar em conjunto e garantir que as suas capacidades não são subaproveitadas. É inútil ter um motor muito potente se as baterias e o controlador não tiverem capacidade para o alimentar.

A instalação dos equipamentos no veículo cumpre a legislação referida no trabalho (Decreto Lei n.º 16/2010 e Regulamento nº 100 da UNECE), bem como

algumas considerações adicionais, garantido a homologação do veículo e o sucesso da conversão.

No critério técnico, todos os objetivos pretendidos para a conversão foram alcançados. Pretendia-se que o veículo tivesse uma autonomia de 100km, capacidade de aceleração e velocidade máxima de 100km/h. Com os equipamentos utilizados atinge-se uma autonomia de 102,7km, velocidade máxima de 119km/h e 0-80km/h em 20 segundos em 2ª velocidade. As baterias não retiraram espaço na mala do veículo, já que a grande maioria foi instalada na frente do veículo, e assim contribui-se para a estabilidade do mesmo.

No critério económico, concretizou-se a conversão dentro do limite pretendido (10.000€) e com os estudos realizados conclui-se que o investimento é amortizado ao fim de 3 anos, que num prazo de 10 anos consegue-se uma poupança de 12446,7€ face à utilização de um ICEV e o investimento torna-se inviável para um prazo de 10 anos caso o utilizador percorra menos de 24km/dia. Com esta conversão conseguiu-se reduzir os gastos com a utilização do veículo de 13,36€/100km para 1,20€/100km.

Globalmente conclui-se que existe uma grande diversidade de equipamentos e tecnologias passíveis de serem utilizadas nas conversões, a tecnologia está suficientemente madura para este tipo de aplicações e a nível mundial já há muitos negócios de conversão de veículos. O *EV* é uma solução inteligente para 2º veículo de uma família, para deslocações urbanas (~100km/dia) e os reduzidos custos de operação e manutenção são a chave do sucesso do EV.

6.1. PERSPETIVA DE TRABALHO FUTURO

A conversão de veículos ainda é pouco explorada em Portugal. Seria interessante converter um veículo dentro da comunidade ISEP, com o objetivo de representar e promover a instituição.

Aproveitando os conhecimentos dos professores e alunos e as instalações do ISEP, promover um negócio de conversão de veículos em modelo *Spin-off*.

7. REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS

[1] Ehsani, M., Y. GAO, E.Gay, & Ali E. (2010). *Modern Electric Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles.* United States of America: CRC Press

[2] www.dgeg.pt

[3] Gulhame, Mr. Vidyadhar, e tal., " A Scope for the Research and Development Activities on Electric Vehicle Technology in Pune City", IEEE, 2006

[4] Sampaio, N., Teixeira, J. "Impacto dos Veículos Elétricos na rede e Despacho Económico Considerando Veículos Elétricos". Relatório da unidade curricular de Estágio/Projeto em sistemas elétricos de energia, Isep, Porto, Junho de 2010

[5] Lipman, T. E., Edwards, J., L. & Kammen, D., M., Economic Implications of Net Metering for Stationary and Motor Vehicle Fuel Cell Systems in California, University of California Energy Institute (UCEI), Berkeley, California, 2002

[6] http://dre.pt/pdf1sdip/2008/05/09700/0282402865.pdf

[7] Site da Rede Mobi-e (www.mobie.pt)

[8] Barbosa, António, "Redes de abastecimento para veículos elétricos", Instituto Superior de Engenharia do Porto, Janeiro de 2012

[9] Chan, C.C. *The state of the art of electric and hybrid vehicles*. IEEE. vol. 90, pp.247-275, 2002.

[10] Geneva Motor Show 2011 (http://www.autoconcept-reviews.com/motor_shows/geneva-2011/events_geneva-2011.html#3 (01-08-2012)

[11] Nissan Leaf (http://www.nissan.pt/#vehicles/electric-vehicles/electric-leaf/leaf (05-08-2012))

[12] Peugeot ion (http://www.peugeot.pt/media/deliacms/media//93/9385-fa6254.pdf (05-08-2012))

[13] Renault Fluence (http://info.rnportugal.com/catalogos-renault/PDF/Fluence-ZE.pdf (05-08-2012))

[14] Opel Ampera (http://www.opel-ampera.com/index.php/mas/home (05-08-2012))

[15] Mitsubishi i-mi*ev* (http://www.mitsubishi-motors.pt/home.aspx (05-08-2012))

[16] Tesla S (http://www.teslamotors.com (05-08-2012))

[17] http://www.toyota.pt/innovation/technology/engines/fuel_cell.tmex (01-08-2012)

[18]http://h2101.harc.edu/Hydrogen101Curriculum/H101Benefits/tabid/517/Default.aspx(01-08-2012)

[19] Conferência da Energia e Transportes: uma articulação complexa mas fundamental para um futuro sustentável (25 de Março de 2008; Auditório do Metropolitano, Estação do Alto dos Moinhos 25 de março de 2008)

[20] world.honda.com/news/2011/c110519Clean-Energy-Partnership/index.html (06-08-2012)

[21] www.insideline.com/mercedes-benz/mercedes-benz-fuel-cell-car-ready-for-market-in-2014.html (06-08-2012)

[22] http://www.veiculoselectricospt.com/veiculos-electricos-de-alimentacao-directa/ (28 – Junho 2012)

[23] N. Gaurav, C.KAr Narayan, "A Survey and Comparassion of Characteristics of Motor Drives Used in Electric Vehicles", IEEE, 2006

[24] Siemens, "Motores de corrente contínua – Guia rápido para uma especificação precisa", Edição 1, 2006

[25] Melo, Pedro. *Veículos Elétricos – Características e Tipos de Motores.* Neutro á Terra. p13-22, 2009

[26] Melo, Pedro. Estruturas e Características de veículos híbridos e eléctricos.p17-26, 2009

[27] Krishnan, R., "Electric Motor Drives – Modeling, Analysis, and Control", Prent*ICE* Hall, New Jersey, 2001

[28] http://en.wikipedia.org/wiki/Brushed_*DC*_electric_motor (25-07-2012)

[29] http://www.teslamotors.com/blog/induction-versus-*DC*-*brushless*-motors (15 de junho de 2012)

[30] J. Fetz and K. Obayashi, "High efficiency induction motor drive with good dynamic performance for electric vehicles," IEEE, pp. 921-927, 1993.

[31] Alves, Mário, “ABC das Máquinas Elétricas”, ISEP – Departamento de Engenharia Eletrotécnica, Março de 2003

[32] A.Justin, C.Joshua, G.Saurabh, [et.al.] “The Electric Vehicle Battery Landscape: Opportunities and Challenges”, Center for Entrepreneurship & Techology, 21 de Dezembro de 2009

[33] Dhameja S. Electric Vehicle Battery Systems. Butterworth-Heinemann. Woburn. 2002

[34] P. Brant, D. Eric, and R. Jeff, “Life Cycle Costs of Electric and Hybrid Electric Vehicle Batteries and End-of-life Uses,” IEEE, 2012.

[35] K. Takei, K. Kumai, Y. Kobayashi, H. Miyashiro, [el. al.], “Cycle life estimation of lithium secondary battery by extrapolation method and accelerated aging test”, *J. of Power Sources,* vol. 97-98, 2001.

[36] A. Di Filippi, S. Stockar, S. Onori, M. Canova, Y. Guezennec, "Modelbased life estimation of Li-ion batteries in PH*EV*s using large scale vehicle simulations: An introductory study," Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), IEEE, pp.1-6, Sept. 2010.

[37] V.V. Viswanathan, and M.K. Kintner-Meyer, "Second use of transportation batteries: Maximizing the value of batteries for transportation and grid serv*ICE*s," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on* , no.99, pp.1, 2011.4

[38] P. Wolfs, "An economic assessment of “second use” lithium-ion batteries for grid support," *Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 2010 20th Australasian*, pp.1-6, Dec. 2010.

[39] S.E. Sloop, "Recycling advanced batteries," *Electronics and the Environment, 2008. ISEE 2008. IEEE International Symposium on*, pp. 19-22, May 2008.

[40] A. Brenier, J. McDowall, and C. Morin, "A new approach to the qualification of lithium-based battery systems," *Telecommunications Energy Conference, 2004. INTELEC 2004. 26th Annual International*, pp. 12- 18, Sept. 2004.

[41] Bateria de Chumbo-ácido (http://pt.wikipedia.org/wiki/Acumulador_de_chumbo)

[42] http://www.hybriDCars.com/electric-car (15 - junho-2012)

[43] Moorthi M.,*Lithium Titanate Based Batteries for High ApplicationsHigh Rate and High Cycle Life Applications*, NEI Corporation

[44] Amos.J, (24 Agosto de 2008), “Solar plane makes record flight” BBC News

[45] Zhao X., M. Hayner, Mayfair C.Kung., H.Kung Harold. *In-Plane Vacancy-Enabled High-Power Si–Graphene Composite Electrode for Lithium-Ion Batteries.* Vol 1.pp 1079-1084, 2011

[46] VEpt, (22 Abril de 2012) “Baterias com 800km de autonomia” veiculoseltricospt.com (15-08-2012)

[47] Bateria Ar-Zinco (Wikipedia.org/wiki/Zinc-air_battery (15 de Agosto de 2012))

[48] www.madkatz.com/*ev*/batterytechologycomparison.html

[49] Burke Andrew, Miller Marshall, “Performance Characteristics of Lithium – ion Batteries of Various Chemisteries for Plug-in Hybrid Vehicles”, Noruega, Maio de 2009

[50] Clovis Goldemberg, Luiz Lebensztajn, Eduardo Lorenzetti Pellini, *A evolução do Carro elétrico,* Agosto 2005.

[51] Gomes, N., *Acetatos de apoio à unidade curricular Veículos Elétricos em Sistemas Elétricos de Energia.* Isep, Porto.

[52] http://www.teslamotors.com/goelectric/efficiency (25-07-2012)

[53] http://www.xor-motors.com/pt/tudo-sobre-eletricidade/tecnologia-motor/rendimento-motor-eletrico.php (25-07-2012)

[54] www.acap.pt

[55] www.tecnitron.com

[56] Regulamento nº 100 da UNECE – 2ª Revisão (11 abril 1997) (http://www.unece.org/trans/main/sc1/search?q=E%2FECE%2FTRANS%2F505)

[57] Site oficial da *Kostov* Motors (*Kostov* motors.com/tractionmotors/*Kostovev*motors(ac-*DC*)/series*DC*motorsforelectricvehicles/

[58] www.*evSource*.com/tls_motor_adapters.php (Março 2012)

[59] Bateria *Winston* (http://eu.*Winston*-battery.com/index.php/products/power-battery/item/wb-lyp100aha?category_id=176) (Março 2012)

[60] Controlador (http://*ev*netics.com/downloads/Soliton_Jr_Installation_Drawing.pdf) (Março 2012)

[61] Carregador (http://www.*ev*-power.cz/docs/GWL-Power-POW-PFC_1-8kW-Spec.pdf) (Março 2012)

[62] Conversor *DC*/*DC* (http://www.*evSource*.com/datasheets/*DCDC*/500-*DCDC*-636_Manual.pdf)

[63] BMS (www.kta-*ev*.com) (Março 2012)

[64] Instrumentação (http://www.tbs-electronics.nl/downloads/) (Março 2012)

[65] www.*ev*works.com.au (Março 2012)

[66] *evSource*.com/tls_nanfeng.php (Março 2012)

[67] Ministério das Finanças, “Medidas associadas à importação de pilhas e acumuladores e de baterias de veículos novos ou usados” Pauta de Serviço, 2009

[68] Motor *DC Brushless* (pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corrente_continua_sem_escovas) (Março 2012)

ANEXO A – EQUIPAMENTOS

Motor	AC/DC	Tensão (V)	Amp (A)	Binário (Nm)	RPM	Potência (kW)	Peso (Kg)	Preço (€)	Fornecedor
Kostov K9 Motor (~1000Kg)	DC	144	200	40	5700	24	45	992,37	Kostov-motors
Kostov K9 Motor	DC	220	176	44	6800	32	45	1335,88	Kostov-motors
Kostov K11	DC	192	250	73	5300	40,4	-	1679,39	Kostov-motors
NetGain ImPulse 9 (~1200Kg)	DC	192	300	52,5	5500	~30	60	1335,88	NetGain Motors
NetGain Warp 9 (~1600Kg)	DC	192	300	80,4	5500	~45	70	1488,55	NetGain Motors
NetGain Warp 11 (~2500Kg)	DC	192	300	100,7	5000	~52	105	2366,41	NetGain Motors
PM 15 (sem escovas)	DC	144	-	48	6000	15	39	4173,28	3xE
PM 20 (sem escovas)	DC	144	-	76	6000	20	49	4741,98	3xE

Baterias										
Tipo – código	Tensão nominal (V)	Capacidade (Ah)	Compr. (m)	Largura(m)	Altura(m)	Volume Unit.(m^3)	Peso Unit. (Kg)	Preco Unit.(I)	Fornecedor	Longevidade (80%DOD)
LiFePO4 - WB-LYP100AHA LiFeYPO4	3,2	100	0,22	0,068	0,145	0,00217	3,4	91,61	Winston	3000
LiFePO4 - WB-LYP160AHA LiFeYPO4	3,2	160	0,279	0,0706	0,182	0,00358	5,8	146,57	Winston	3000
LiFePO4 - WB-LYP200AHA LiFeYPO4	3,2	200	0,28	0,1	0,183	0,00512	7,7	183,21	Winston	3000
Bateria de Lítio	24	20	0,351	0,175	0,125	0,00768	6,6	12000	Autosil	2000
LiFePO4 - SP-LiFeYPO4 -180AHA	3,2	180	0,18	0,068	0,2805	0,00343	5,6	194,21	Sinopoly	2000

Controlador	Tensão nominal (V)	Corrente Máxima (A)	Peso (Kg)	Preco Unit.(€)	Fornecedor
Evnetics Soliton Jr	8 - 340	600	10	1599,24	Evnetics
Evnetics Soliton1	9-340	1000	16	2515,27	Evnetics
Curtis 1231C	96 - 144	500	~5	1289,22	Curtis / EV source
Alltrax Axe 7245	24-72	450	4	485,50	Alltrax / EV source

Bomba de vácuo	Vácuo desenvolvido(mmHg)	Tensão(V)	Ruído (dB)		Preco Unit.(€)	Fornecedor
BSC	600	12	40		296,85	EV source

Conversor DC/DC	Tensão de entrada (V)	Tensão de saída (V)	Corrente de saída máx.(A)	Preco Unit.(€)	Fornecedor
DC-DC converter	110-370	13,8	53	159,45	EV source

Bomba de direção Hidráulica	Fluxo (L/min)	Tensão (V)	Pressão máxima (psi)	Preco Unit.(€)	Fornecedor
EPS Pump Kit	6,443	12	1000	701,44	EV source

Carregador de baterias	Tensão de entrada (V)	Frequencia (Hz)	Peso (Kg)	Tensão de saída (V)	Corrente de saída(A)	Potência (KW)	Preco Unit.(€)	Fornecedor
TCCH - H233.6-6.2	85 - 265	50 - 60	~7,5	29,2 - 292	5,0 - 40	1,5	243,51	GWL Power
TCCH-H175.2-16	86 - 265	51 - 60	~14	29,2 - 292	10,0 - 80	3	654,96	GWL Power

Instrumentação	Preco Unit.(€)	Fornecedor	
E - Xpert pro	180,25	Telextrónica	Necessita de um Kit prescalar de tensão para permitir o uso até 350 VDC

Outros Componentes	Preco Unit.(€)	Fornecedor
Kit pré-escalar de Tensão	62,3	Telextrónica
Cabo/ Terminais/Ligadores	200	-
Interruptor de inércia	18	EV Works
Fusível para bateria	54,87	Ferraz/Shawmut fuse
Placa adaptadora	670,90	EV Source
Escovas Para os motores Kostov	38 €	Kostov
Escovas Para os motores Netgain	152,67	Netgain
BMS - Battery monitoring sistem	1548,85	KTA services inc
Circuit Braker	133,59	KTA services inc

Contactor	Corrente de Corte cont. (A)	Corrente Máxima de corte (A)	Bobine (V)	Tensão (v)	Preco Unit.(€)	Fornecedor
Nanfeng ZJW	400	1000	12	-	54,80	EV source
Tyco Kilovac	500	2000	12	320	72,43	EV source
Gigavac GX14	350	2500	12,24 ou 48	750	107,33	EV source

Folha de simulação:

formula		
F_a	$\frac{1}{2}\rho C_d A v^3$	N
F_r	$\mu m g$	N
F_g	$m g \sin(\alpha)$	N
P	$(F_a+F_r+F_g)v/\eta$	W
v		m/s
α	0	RAD
μ	0,01	
m	1.077	kg
g	9,81	m/s²
C_d	0,47	
ρ	1,2	kg/m³
A	1,9	m²
η_c	95%	
η_m	85%	
η_t	95%	
η	77%	
P_{aux}	2,00	kW

battery pack		
cell type	Winston-SE100AHA	
cell make	Winston	
cell capacity	100 Ah	
cell voltage	3,2 V	
cell weight	3,40 kg	
cell density	94 Wh/kg	
cell rating	3,00 C	3 C
DOD		80 %
cell count	45	
pack topology	45 S	1 P
pack weight	153 kg	
pack capacity	12 kWh (usable)	
pack amperage	300 A (max)	
pack voltage	144 V	
pack power max	43 kW (max)	

Graph: Range

Curve: Global / Gear

Axis: Time / Speed

Grade: 0 | %Rating | %Sport

motor	
Motor	K 9" 144V
Peak Power	52 kW
Peak Torque	138 Nm
Max Amp	300 A
Max Volt	144 V
Max Power	31 kW
Max Torque	83 Nm

mass	
vehicle	744 kg
battery pack	153 kg
passenger	160 kg
luggage	20 kg
Total	1.077 kg

gear ratio	
Tire radius	0,27 m
Shift time	1,00 s
Gearbox	Golf

1st gear | 2nd gear | 3rd gear | 4th gear | Range | 5th gear

K 9" 144V - Grade = 0%

(km)

Speed (km/h)

Cruise mode							
Speed	F_a	F_r	F_g	Power	Uptime	Range	Mileage
0	0,0	105,7	0,0	0,0		0,0	
10	4,1	105,7	0,0	0,4	4,8	48,0	239,8
20	16,5	105,7	0,0	0,9	4,0	79,9	144,2
30	37,2	105,7	0,0	1,6	3,2	97,3	118,4
40	66,1	105,7	0,0	2,5	2,6	102,7	112,2
50	103,4	105,7	0,0	3,8	2,0	99,6	115,7
60	148,8	105,7	0,0	5,5	1,5	91,8	125,5
70	202,6	105,7	0,0	7,8	1,2	82,2	140,2
80	264,6	105,7	0,0	10,7	0,9	72,4	159,1
90	334,9	105,7	0,0	14,4	0,7	63,4	181,7
100	**413,4**	**105,7**	**0,0**	**18,8**	**0,6**	**55,4**	**208,0**
110	500,2	105,7	0,0	24,1	0,4	48,5	237,6
120	595,3	105,7	0,0	30,5	0,4	42,6	270,5
130	698,7	105,7	0,0	37,9	0,3	37,6	306,6
140	810,3	105,7	0,0	46,4	0,2	33,3	346,0

Range - 0,1% sport						
Time	1st gear	2nd gear	3rd gear	4th gear	5th gear	Range
0,0						0,0
863,0	47,9	47,9	48,0	48,0		47,9
1.728,8	79,3	79,6	79,7	79,7		79,3
2.600,2	96,5	96,9	97,0	97,1		96,5
3.881,2	102,3	102,2	102,4	102,5		102,2
5.514,6		99,2	99,3	99,4		99,2
7.434,6		91,6	91,6	91,7		91,6
10.187,4		82,1	82,0	82,1		82,0
13.242,3		72,4	72,3	72,4		72,3
18.469,6			63,3	63,3		63,3
25.976,6				**55,4**		**55,4**
36.474,8				48,5		48,5

Identificación de la instalación	*VEÍCULO ELÉCTRICO*
Notas complementarias	
Tipo de corriente	*Continua*
Tipo de instalación	*Instalaciones con fines especiales*
	Motores eléctricos
Modo de instalación	*Cables al aire*
	En bandejas no perforadas
Tensión nominal de la red	*144 V*
Tensión nominal del cable	*0,6/1 kV*
Aislamiento del cable	*XLPE*
Composición del cable	*(1x) Unipolar*
Naturaleza del conductor	*Cobre*
Cable seleccionado	**RETENAX FLEX**
Designación UNE	*RV-K 0,6/1 kV*
Temperatura ambiente	*30 °C.*
Intensidad efectiva	*256.9 A.*
Potencia aparente	*46.2 kVA.*
Potencia activa	*37.0 kW.*
Sección por calentamiento	*95 mm²*
Resistencia del cable a temperatura máxima	*R = 0.245 ohm./Km.*
Reactancia	*X = 0.096 ohm./Km.*
Longitud de la línea	*10 metros*
Caída de tensión	*1.3 V. < 5 %*
Sección por caída de tensión	*95 mm²*
Tiempo de disparo de las protecciones	*1 seg.*
Cte. máxima de cortocircuito	*400 A.*
Energía del cortocircuito	*0.2 kA² · seg*
Sección por Icc	*4 mm²*
Sección técnica recomendada	**95 mm²**
Corriente max. admisible	*295 A.*
Número de cables por fase	*1*
Temperatura efectiva del conductor	*67.9 °C.*
Temperatura máxima del conducto	*90 °C.*
Temperatura máxima de cortocircuito	*250 °C.*

ANEXO B – HOMOLOGAÇÃO

ANEXO C – E-MAILS

BRUSA

Nuno Sampaio 3 jan

para info

hello

I'm from Portugal, I am interested in converting my conventional vehicle in electric vehicle.

My car is a Seat Ibiza 1.9 TDI (first recorded in 2000).

send this mail to collect information about components that need and price.

waiting for a response,

Nuno Sampaio

Dear Mr. Sampaio,

thank you very much for your inquiry and your interest in our products.

Attached I will send you a presentation with the necessary components for building an electric car (=without vehicle control unit)
The presentation contains set-prices for prototypes (4 different sets)

Here our unit prices:

battery EVB1-400-40:	EUR 59'000	
inverter DMC524:	EUR 13'200	http://www.brusa.biz/index.php?id=131&L=0&id=131
inverter DMC534:	EUR 21'900	http://www.brusa.biz/index.php?id=132&L=0
Motor HSM1-6.17.12:	EUR 16'900	
Motor HSM1-10.18.13:	EUR 22'680	
Motor ASM1-6.17.12 (Cu):	EUR 12'900	
Motor ASM1-6.17.12 (Alu)	EUR 9'300	
Axle gear GX629:	EUR 21'200	http://www.brusa.biz/index.php?id=136&L=0
Bidirectional converter BSC624-12V:	EUR 8'900	http://www.brusa.biz/index.php?id=146&L=0
Bidirectional converter BSC623-12V:	EUR 8'900	http://www.brusa.biz/index.php?id=145
Battery charger NLG513-Wx: (water-cooled)	EUR 4'664	http://www.brusa.biz/index.php?id=154
Batttery charger NLG513-Sx: (air-cooled)	EUR 2'502	http://www.brusa.biz/index.php?id=206&L=0
Power distribution unit PDU254:	EUR 3'800	
VCU200 vehicle control unit (without software)	EUR 5'600	

Enclosed I will also send you our specifications for our components.

McMob

Email McMob 0 CO2
Caro Nuno Sampaio,

É com agrado que registamos que cada vez mais pessoas se preocupam com a preservação do ambiente, com a sustentabilidade do planeta e com a qualidade de vida das gerações futuras.

Este 1.º kit McMob está concebido especificamente para Smarts Fortwo, tendo em conta as características do carro. No entanto, estamos a trabalhar na concepção e desenvolvimento de um kit universal, que possa ser adaptado a qualquer modelo automóvel.

Esse kit universal está em processo de criação e ainda não tem data prevista de lançamento.

Ficamos com os seus elementos em base de dados e quando a solução universal estiver desenvolvida, entramos novamente em contacto.

Saudações ecológicas,

Brand Manager

ACAP

Boa tarde,

Estou a desenvolver um trabalho de final de curso, e precisa de informação actual sobre a venda de veículos eléctricos em Portugal e na Europa, podem ajudar a encontrar essa informação?

Aguardo resposta,

Cmpts,

Nuno Sampaio

Exmº Sr.

Junto envio a informação pretendida.

Com os meus melhores cumprimentos,

ACAP - AUTO INFORMA, Lda.

Tbs - Eletronics

Hi,

I from Portugal, i am converting my car in a electric car.

My battery´s tension is 144V, so i need a voltage prescaler kit to use with the E-Xpert pro.

What is the price for this equipement?

Wait for a response,

Nuno Sampaio

Hi Nuno,

For 144V you will indeed need our 1:5 voltage prescaler kit. The advised end user price is EUR 70.00, but it can be different in your country. We cannot sell to you directly unfortunately, so you will have to contact our Portuguese distributor Telextronica or try to contact Bureau Baterias in Spain (for contact details, please check http://www.tbs-electronics.nl/contact.php

I hope this helps.

Thanks.

Met vriendelijke groeten / Best Regards,

TBS Electronics BV

TELEXTRÓNICA

Boa tarde,

Preciso de um 1:5 voltage prescaler kit e 1:10 voltage prescaler kit para usar com o E-Xpert pro.

Entrei em contacto com a tbs-electronics, eles disseram para entrar em contacto convosco, preciso de saber o preço do equipamento tanto do kit de tensão como do E-xpert pro.

Cmpts,

Nuno Sampaio

Bom dia
Agradecemos a V/consulta e passamos a enviar n/preços e demais informações para o eventual fornecimento de :

E EXPORT PRO
1 (Um) e- expert - Lite Input 9..35V, 2 batt.bank, incl. 500A shunt **€180,25**

Alternativa

1 (Um) e- expert - Pro Input 9..35V, 2 batt.bank, advanced feat., incl. 500A shunt **€214,58**

PRESCALERS

1:5 voltage prescaler (passive) : EUR 62,30

- 1:10 voltage prescaler (passive) : EUR 62,30
- 1:5 voltage prescaler (active) : EUR 83,30

Condições gerais de fornecimento :
Preços : sujeitos ao Iva 23%. sem instalação.
Prazo de entrega : 8 a 10 dias após confirmação da encomenda. Entende-se por material a entregar nos N/armazéns em Lisboa
Pagamento : 50% na confirmação da encomenda por transferência bancária , restante contra entrega da mercadoria .
Garantia : 2 anos contra eventuais defeitos de fabrico e mão de obra. A garantia exclui custos com portes ou deslocações se necessárias.
Atenciosamente

A 123 SYSTEMS

We appreciate you taking the time to fill out our form. A member of our transportation sales team will review your submission and respond to you shortly.

Please note that A123 Systems is focused on commercial automotive, truck and bus applications. We do not offer any cells or battery systems for consumer electric vehicle conversions.

Want to learn more about advanced energy storage? Sign up for our newsletter today!

Thanks,

A123 Systems

KOSTOV

Hello

I'm from Portugal, I am interested in converting my conventional vehicle in electric vehicle.

My car is a Seat Ibiza 1.9 TDI (first recorded in 2000) and a VW GOlF 2 (first recorded in 1989).

I´m interested in buy a motor, controller and batteries. I want to know your opinion about the better solution to my cars and price.

Finally I wanted to know if you do some discount if i buy a large amount of equipment.

waiting for a response,

Nuno Sampaio

Hi,

There is no such thing as a better solution – you can always add more money and get a better one J
In order not to discuss everything possible please let me know:

1) Target range.
2) Do you want a performance conversion or "normal" one.
3) What is your budget for motor/battery/controller only?
4) Do you actually want to convert both cars? If not, which one?

Hi,

First i want to convert my VW Golf (1989), and a normal conversion:
Range:90miles
Top speed:80mph

I have about 10,000 € for the entire conversion

Best regards,

Hello,

This can be:

K9 144V 1300$
SolitonJR ~2300$.
45x160Ah Winston cells 45x200$=9000$

Battery will be 23kWh of which 18kWh useable at 130Wh/km gives around 140km range or your 90miles.

Total cost is 12 600$ or ~ EUR 9600.

You can save ~3000$ by going for 50 mile range and 45x90Ah cells.

Hi,

Only three more question. With this solution I have assurances that the car doesn't "die" in uphill, and i saw that the Evnetics Soliton1 is applied in many conversions, what is the difference between the soliton 1 and the soliton Jr. Finally if i want a solution with a stronger motor, witch motor you advised.

Thanks!

Nuno Sampaio

Hi,

Only three more question. With this solution I have assurances that the car doesn't "die" in uphill, IT WILL NOT BE EXACTLY SPORTY BUT WILL NOT DIE EITHER ASSUMING YOU KEEP THE GEARBOX.

and i saw that the Evnetics Soliton1 is applied in many conversions, what is the difference between the soliton 1 and the soliton Jr. S1 HAS 1000A PEAK WHILE SJR HAS 600A PEAK.

Finally if i want a solution with a stronger motor, witch motor you advised. K11 192V+S1+160AH CELLS.

Thanks!

Nuno Sampaio

In theory series DC brushed motors can regenerate but no one has ever realized it in practice.
Therefore both the motor and the controller do not support regen.

If you want regen you have to limit yourself to 120V and go with K9" Sepex with the Phoenix controller:
http://www.elektrosistem.com/xtra/53%20-%20News%20PHOENIX%20ING.pdf

Hi,

New brushes are 50$ without VAT and shipping. You need a new set every ~1000 working hours.
Assuming average city speed of 25km/h this is like 25 000km.

Regards,
Plamen Nakev,
Balkancar "G. Kostov" JSC

WINSTON BATTERY'S

Hello

I'm from Portugal, I am interested in converting my conventional vehicle in electric vehicle.

My car is a Seat Ibiza 1.9 TDI (first recorded in 2000) and a VW GOlF 2 (first recorded in 1989).

I´m interested in buy a motor, controller and batteries. I want to know your opinion about the better solution to my cars and price.

Finally I wanted to know if you do some discount if i buy a large amount of equipment.

waiting for a response,

Nuno Sampaio

Dear Nuno,

Thanks for your letter and interests in our products.

This is Melina from Wisnton. It's my great honor to know you.

To support you and open a friendly relationship, we'd like to quote you our best price at US$1.2/Ah for our LYP batteries.

In order to provid a favorable and suitable proposal for your two vehicles, could you please kindly tell the following info.:
1. Weight and size of the vehicle under full loaded
2. Input vltage of engine controller
3. Engine's power;running speed;torquement
4. The mplh of the vehicle
4. The expected mileage of the vehicle

We appreciate your effort in marketing our products, but regret to tell you that the motor and contrller are not our produts. Would you please turn to other manufacturers for motor and contorller?

If we can be of any other help, please feel free to let us know.

Thank you and best regards!

Sales Representative

Dear Melina,

Thanks for your quick response.

Info:

Weight: 1100Kg
size: 3985x1665x1415 (meters)
Input voltage of engine controller: 9-340 V
Engine Power: 32KW; running speed:6800rpm; torquement: 44Nm
The expected meleage: 90 miles

Wait for your proposal

Best regards!

Dear Nuno,

Thanks for your reply.

We have questions about the input voltage of controller (9-340V). The data area is too large to give the right proposal. Could you please give a more exact number?

And please tell the mph of the vehicle.

Thank you and best regards!

Sales Representative

Hi,

The imput voltage of controller can be between 9 and 340V, but i want work in 144V or 192V. The mph of the vehicle can be approximately 80 mph.

Best regards,

Nuno Sampaio

AUTOSIL

Boa Tarde Nuno Sampaio,

Em primeiro lugar penso ser conveniente, para uma melhor compreenção do tema, enquadrar o estado da arte das diferentes tecnologias de baterias, principalmente para o tipo de aplicação que fala. A diferença da tecnologia de lítio face à de chumbo-ácido é bastante significativa. Acreditamos que as novas baterias de lítio possam proporcionar grandes vantagens ao utilizador, pois apresentam características que gostaria, em primeiro lugar, de salientar:

- São cerca de 3 vezes mais leves;

- Duram mais tempo, pois podem fazer cerca de 2000 ciclos (uma bateria de chumbo-ácido faz cerca de 350 ciclos considerando 80% de profindidade de descarga);

- Permitem ser carregadas mais rápidamente e suportam cargas oportunísticas (incompletas, intercalares) que possibilitam uma utilização mais versátil;

- Têm BMS (Battery management System) incorporado, protegendo a bateria de correntes elevadas;

- São amigas do ambiente, não possuem metais pesados nocivos para o ambiente e não emitem cheiros nem vapores tóxicos;

- Não requerem uma manutenção tão exigente quando armazenadas (uma carga de 5 em 5 meses é suficiente para a manter saudável);

Relativamente à aplicação em causa, posso avançar que a tecnologia de chumbo-ácido nunca conseguiu mostrar-se como uma solução para a mobilidade eléctrica. Esta tecnologia tem muitas limitações na tracção eléctrica principalmente quando sujeita a grandes profundidades de descarga que influenciam o seu período de vida útil. É normal haver picos de corrente elevados no arranque como também taxas de descarga elevadas com o aumento da velocidade do veículo o que provoca facilmente um esforço suplementar à bateria e, consequentemente, o envelhecimento precoce da mesma. É verdade também que as baterias de chumbo-ácido não devem ser submetidas a descargas superiores a 80% de profundidade, pois a sua estrutura interna sofre danos irreversíveis que reduzem muito significativamente o seu período de vida útil. O controle dessa profundidade de descarga é muito difícil ser efectuado num ambiente não profissional como o que se verifica com frotas de empilhadores, pelo que concluo que a utilização de baterias de chumbo-ácido na tracção eléctrica, fora desse controlo/vigilância técnica pode ter resultados abaixo do esperado.
Sublinho que as aplicações mais comuns e bem sucedidas desta tecnologia refere-se a porta palettes ou empilhadores cujas velocidades e taxas de descarga são bastante mais baixas do que num veículo em circulação na via pública, para além de que utilizam baterias muito robustas e pesadas.

Só em casos em que o veículo consiga ter suavidade no arranque e deslocar-se com velocidades muito reduzidas, de modo a que as correntes a que a bateria está sujeita não sejam muito elevadas, e os procedimentos de carga sejam iniciados antes de as baterias chegarem aos 80% de profundidade de descarga e lhes seja feita boa manuntenção, tal como na reposição frequente de electrólito, a utilização do chumbo-ácido pode ser bem sucedida. Veja-se o caso dos carros de golf.
Em suma, a utilização de um veículo eléctrico com baterias de chumbo-ácido não pode ser equivalente ao seu correspondente a gasolina, objectivo só apróximadamente conseguido através da tecnologia de lítio como veremos adiante.

Repare que para um veículo eléctrico poder atingir velocidades na ordem dos 50 a 90 km/h, poder realizar subidas minimamente inclinadas e ter acelerações aceitáveis, vai sempre exigir às baterias taxas de descarga muito mais elevadas bem como picos de corrente proibitivos para este tipo de tecnologia, o que levará a um decrescimo do rendimento precoce das baterias bem como do tempo de vida útil das baterias.

Relativamente às baterias de lítio, são as recomendadas para a mobilidade eléctrica pois conseguem ter desempenhos muito superiores relativamente ao chumbo-ácido bem como apresentam uma durabilidade muito maior com um peso significativamente mais reduzido. Suportam profundidades de descarga mais elevadas e estão protegidas electronicamente na carga e na descarga. A bateria está auto protegida pois desliga-se quando atinge um valor mínimo de carga o que dá uma maior confiança no que toca à longevidade da bateria. O controlo da descarga é feito célula a célula por um controlador electrónico denominado de BMS (battery management system) e que está instalado na bateria.

Apesar de ser cerca de 3-4 vezes mais cara, a bateria de lítio deverá durar entre 4 a 10 vezes mais tempo que o conjunto em chumbo-ácido, dependendo da exigência pretendida, e pesa cerca de 3 vezes menos, factor este determinante na mobilidade eléctrica, para melhorar a eficiência do veículo que terá naturalmente menor consumo.

A adopção do Lítio na mobilidade eléctrica representa uma mudança de paradigma face ao chumbo ácido, embora reconheçamos que a análise de custo benefício tenha de ser feita não comparando a frio os dois valores de investimento mas sim a esperança de vida e qualidade da utilização que ambas nos concedem.

Relativamente à sua questão, a autonomia está directamente dependente do consumo do veículo e fazemos as baterias à medida das necessidades. Qual o espaço que tem disponível? O nosso SMART IWIN! tem instalada uma bateria de ião de lítio de 96V90Ah apresenta um peso a rondar os 100Kg e a sua autonomia é cerca de 80Km. O custo da bateria anda na ordem dos 9.900€ + IVA.

Agradeço desde já o seu contacto e interesse nas baterias de ião de lítio da Autosil,

Bom dia,

Obrigado pela resposta e pelo esclarecimento das baterias.

É o seguinte o motor que estou a pensar utilizar é um Kostov k9 - 144V, ou seja, as baterias que utilizaram no smart não são suficientes para o meu caso, preciso de mais tensão e talvez 100Ah pois o meu carro também é mais pesado que o smart. O espaço disponível não consigo precisar de momento, mas tenho bastante a mala é grande e com o volume do deposito de combustível ainda fica maior, para além disso estava a pensar distribuir o peso e colocar algumas baterias na frente do veículo, penso que o espaço não é problema. Pretendo uma autonomia a rondar os 100Km.

O que me aconselha?

Obrigada pela disponibilidade.

Cmpts,

Nuno Sampaio

Caro Nuno Sampaio,

Conhecendo tensão de funcionamento do motor eléctrico (144V), posso avançar que podemos construir a bateria de lítio que pretende de 144V100Ah (15kWh). A autonomia irá depender directamente do consumo do veículo, regime e perfil de utilização, mas para realizar 100km penso que será possível com uma bateria entre 15kWh e 19 kWh para o caso do VW. A contrução destas baterias representa um custo na ordem dos 15.000€ e os 19.000€ respectivamente. (IVA não incluído).

Uma alternativa pode passar por instalar uma bateria mais pequena e consequentemente com menor autonomia, mas por vezes acaba por ser uma boa solução para viabilizar o projecto de conversão.

Qual o perfil de utilização que pretende ter para o veículo?

Cumprimentos

3xE – Electric Car

hello Mr. Sampaio,

Yes we recommend BLDC instead of Lemco (there are too week for our aplications).
Tomorrow I will send you price list, as the prices are changing.

hello again,

I am sending our offer for Permanet Magnet BLDC motor:

motor	controller	battery DC	Nm	Nm	peak KW	rated KW	rpm	KG	motor packing (mm)	controller KG	controller packing (mm)	price (net)
PM15	PMC15	144	100	48	25	15	6000	39	430*240*240	10	410*280*300 (paper)	$5 467
PM20A	PMC20A	144	150	76	30	20	6000	49	440*250*300	10	410*280*300 (paper)	$6 212

European Union shipping cost: 160 USD (net)

I attach data sheet of BLDC motor.
--
Best regards / Mit freundlichen Grüßen

NETGAIN

Nuno,

Brushes are designed to last a minimum of 1,000 hours, and reports from the field are that people can easily drive over 100,000 miles on a set of brushes. If, however, the environment is hostile (dusty, very cold) this could be reduced. The minimum miles I've seen on a set of brushes in 14 years is ~30,000 miles (and this was in a hostile environment).

8 brushes have a MSRP of $200.00 TOTAL (for 8 brushes)!

NetGain Motors, Inc.

IMTT

Exmo. Senhor,

Em resposta ao seu e-mail, sobre o assunto acima referido, esclarece-se que em termos genéricos, ***numa transformação de um veículo com motor de combustão para um veículo com alimentação elétrica a legislação que deve ser considerada é a seguinte:***

1 – Todos os sistemas e componentes do veículo que forem alterados pela transformação (Ex: direção, travagem, iluminação etc.) devem continuar a cumprir os requisitos aplicáveis que se encontram enunciados no ***anexo IV do Decreto-Lei n.º 16/2010, de 12 de Março, que aprova o Regulamento da Homologação CE de Modelo de Automóveis e Reboques, Seus Sistemas, Componentes e Unidades técnicas.***

2 – Relativamente à ***segurança da instalação de alimentação elétrica do veículo devem ser cumpridos os requisitos aplicáveis definidos no Regulamento n.º 100 da CEE-ONU (UNECE).Este regulamento está disponível no site: http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs81-100.html***

Com os melhores cumprimentos,